

SOZIOÖKONOMISCHE RAHMENBEDINGUNGEN UND LANDNUTZUNG ALS BESTIMMUNGSFAKTOREN DER BODENEROSION IN ENTWICKLUNGSLÄNDERN

- Eine überregionale empirische Analyse im Kontext der Agrarentwicklung -



Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum agriculturalarum (Dr. rer. agr.)
an der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät
der Humboldt-Universität zu Berlin

vorgelegt von

Dipl.-Ing.agr. Silvia Morgenroth

Berlin
1999

Schlagworte: Bodenerosion - sozioökonomische Rahmenbedingungen - Bevölkerungsdruck
- agrarökologische Tragfähigkeit

Key words: *soil erosion - socioeconomic conditions - population pressure -
agroecological carrying capacity*

Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin: Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Meyer

Dekan der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät: Prof. Dr. Dr. h.c. Ernst Lindemann

Gutachter: 1. Prof. Dr. Dr. h.c. Dieter Kirschke
2. Dr. habil. Christian Franke

Tag der mündlichen Prüfung: 06.09.1999

Meinen Eltern
Gerhard und Dr. Ute Morgenroth

INHALTSVERZEICHNIS

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN.....	iv
VERZEICHNIS DER TABELLEN.....	vi
VERZEICHNIS DER ANHÄNGE.....	viii
VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN.....	ix

EINLEITUNG

1 Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise.....	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit.....	3
1.3 Vorgehensweise.....	4

THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND AUSMASS DER BODENEROSION

2 Einfluß anthropogener Rahmenbedingungen auf Landnutzung und Bodenerosion - Theoretische Ansätze, Hypothesen und empirische Studien.....	6
2.1 Forschungsrichtungen und theoretische Ansätze zur Analyse von Bodenerosion und ihrer Ursachen.....	7
2.1.1 Historischer Überblick.....	7
2.1.2 Theoretische Ansätze zur ökonomischen Analyse der Bodenerosion und ihrer Ursachen.....	9
2.2 Hypothesen zur Wirkungsweise wichtiger Einflußgrößen.....	16
2.2.1 Bevölkerungsdruck und induzierte Innovation.....	17
2.2.2 Armut und Wohlstandswachstum.....	22
2.2.3 Agrarpolitik und Agrarpreise.....	30
2.2.4 Exogener technischer Fortschritt.....	39
2.3 Empirische Evidenz und Defizite.....	40
2.4 Zusammenfassung.....	51
3 Quantitative Erfassung der Bodenerosion im Ländervergleich.....	53
3.1 GLASOD: Ziele und Erhebungsmethoden.....	53
3.2 Aggregation der GLASOD-Daten zu Länder- und Regionaldaten.....	57
3.3 Problemregionen und Problemländer.....	62
3.3.1 Erosionsausmaß und –schwere.....	62
3.3.2 Bedeutung einzelner Erosionstypen.....	66
3.3.3 Unmittelbare Erosionsursachen.....	68
3.3.4 Länder mit sehr schwer erodierten Flächen.....	71
3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	73

EMPIRISCHE ANALYSE

4	Methodisches Vorgehen und Datengrundlage.....	75
4.1	Implikationen der Fragestellung und der Datenverfügbarkeit für das methodische Vorgehen und die Variablendefinition.....	76
4.1.1	Strukturelle Charakteristika: Abhängigkeiten unter möglichen Erosionsdeterminanten und reziproke Wirkungen.....	76
4.1.2	Datenrestriktionen: Zeitliche Eingrenzung und Aggregationsniveau.....	80
4.2	Methodischer Ablauf der Analyse.....	83
4.3	Definition von Indikatorvariablen.....	92
4.4	Klassifizierung der Länder nach agrarökologischen Zonen.....	106
4.5	Zusammenfassung.....	109
5	Identifizierung möglicher Zusammenhänge: Korrelationsanalysen.....	111
5.1	Datengrundlage und angewandte Methoden.....	111
5.2	Zusammenhang einzelner Variablen mit Bodenerosion.....	114
5.2.1	Zusammengefaßte Erosionsindizes.....	115
5.2.2	Einzelne Erosionsformen.....	118
5.2.3	Verschiedene Klimazonen.....	124
5.3	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	128
6	Strukturierung möglicher Determinanten: Faktorenanalysen.....	130
6.1	Die Faktorenanalyse anhand der Hauptkomponentenmethode.....	130
6.2	Spezifisches Vorgehen zur Strukturierung der Erosionsdeterminanten.....	140
6.2.1	Datenmatrix und Ausgangsvariablen.....	140
6.2.2	Vorgehen bei der Interpretation der Faktoren.....	146
6.3	Ergebnisse.....	149
6.3.1	Das vollständige Variablenmodell.....	149
6.3.2	Ergänzende Analysen.....	165
6.4	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	174
7	Bestimmung der relativen Bedeutung von Determinanten der Bodenerosion: Regressionsanalysen.....	179
7.1	Modelltypen und Vorgehensweise.....	179
7.2	Ergebnisse für verschiedene Klimazonen und Erosionsformen.....	179
7.3	Prüfung der Prämissen der Regressionsanalyse.....	192
7.4	Ergänzende Analysen: Agrarpreisentwicklung und Armut.....	194
7.5	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	201

DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG

8 Zusammenfassende Einschätzung und Diskussion der Ergebnisse	204
8.1 Einschätzung der Ergebnisse vor dem Hintergrund von Theorie und Ergebnissen anderer empirischer Studien.....	204
8.2 Möglichkeiten und Grenzen der angewandten Methoden.....	207
8.3 Implikationen der Ergebnisse für die Gestaltung von Politikmaßnahmen...	208
8.4 Weiterer Forschungsbedarf.....	210
9 Zusammenfassung.....	212
10 Summary.....	216
LITERATURVERZEICHNIS.....	220
DANKSAGUNG.....	236
SELBSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG.....	237
CURRICULUM VITAE.....	238
ANHANG.....	240

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abbildung 2-1:	Aus der Produktionsökonomie abgeleitete Determinanten der Wirtschaftlichkeit und Finanzierbarkeit des Bodenschutzes im landwirtschaftlichen Betrieb.....	10
Abbildung 2-2:	Aus der Theorie der Externen Effekte abgeleitete Determinanten der Bodenerosion im Bereich Markt- und Politikversagen.....	12
Abbildung 2-3:	Wesentliche in der Literatur diskutierte Ursachen der Bodenerosion in Entwicklungsländern und prinzipielle Wirkungsweise.....	16
Abbildung 2-4:	Mögliche Entwicklungen anthropogener Bodendegradation über die Zeit pro Person (a) und insgesamt (b).....	27
Abbildung 3-1:	Absolute Größe [Mio km ²] und Anteil erodierter Flächen (WEC) an der Referenzfläche [%] nach Region.....	62
Abbildung 3-2:	Anteil erodierter Fläche pro mapping unit.....	64
Abbildung 3-3:	Anteil erodierter Fläche pro Land.....	64
Abbildung 3-4:	Anteil Wassererosion (W), Winderosion (E) und des Verlustes von Nährstoffen und organischer Substanz (C) an der gesamten Bodenerosion nach Region [% der degradierten Fläche].....	67
Abbildung 3-5:	Haupterosionstyp pro mapping unit.....	68
Abbildung 3-6:	Bedeutung verschiedener unmittelbarer Erosionsursachen nach Region [% der degradierten Fläche].....	69
Abbildung 3-7:	Wichtigste unmittelbare Erosionsursache nach mapping unit.....	70
Abbildung 4-1:	Methodische Anforderungen an den explorativen und den strukturenprüfenden Teil der Analyse.....	84
Abbildung 4-2:	Modellformulierung und explorative Datenanalyse.....	85
Abbildung 4-3:	Methodisches Vorgehen - Aufeinanderfolge der einzelnen Schritte....	88
Abbildung 5-1:	Datengrundlage für die Einfachkorrelationsanalyse - Anzahl einbezogener Variablen für natürliche Bedingungen, Landnutzung und anthropogene Rahmenbedingungen.....	111
Abbildung 6-1:	Teilschritte der Faktorenanalyse.....	132

Abbildung 6-2:	Strukturelle Hypothesen über die Beziehungen von Faktoren und Variablen im faktoranalytischen Modell.....	136
Abbildung 6-3:	Graphische Darstellung der Vektoren im 5-Variablen-Beispiel ohne (a) und mit (b) resultierenden Faktoren.....	137
Abbildung 6-4:	Unrotierte (a) und rotierte (b) Faktorladungen.....	139
Abbildung 6-5:	Datengrundlage für die Faktorenanalyse - Anzahl einbezogener Variablen für natürliche Bedingungen, Landnutzung und anthropogene Rahmenbedingungen.....	142
Abbildung 6-6:	Anteile der extrahierten Faktoren an der Erklärung der Gesamtvarianz (GV), partiell (a) und kumulativ (b).....	150
Abbildung 7-1:	Korrelationskoeffizienten der exogenen Variablen der berechneten Regressionsmodelle.....	192
Abbildung 7-2:	Zusammenhänge zwischen der langfristigen Preisentwicklung DGWP, der Anbauintensität CI (a) und der rezenten Abholzung DEFN (b) - Scatterplots.....	193
Abbildung 7-3:	Zusammenhänge zwischen der langfristigen Preisentwicklung DGWP und Bodenerosion durch Abholzung und ackerbauliches Mißmanagement – Scatterplots.....	198

VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tabelle 2-1:	Übersicht über verschiedene erosionsrelevante Politikbereiche und Instrumente.....	31
Tabelle 2-2:	Empirische Studien zum Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdruck, Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche, Abnahme des Waldbestandes und Zunahme des Pflanzbaumbestandes.....	42
Tabelle 2-3:	Empirische Studien zum Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdruck und erhöhter Anbaufrequenz sowie Verkürzung der Brachezeiten.....	44
Tabelle 2-4:	Empirische Studien zum Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdruck, erhöhter Düngungsintensität und Bodenschutzmaßnahmen.....	44
Tabelle 2-5:	Empirische Studien zum Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdruck und Bodendegradation.....	45
Tabelle 2-6:	Empirische Studien zum Zusammenhang zwischen Preisen, makroökonomischen Größen und Abholzung.....	48
Tabelle 3-1:	Informationen des GLASOD für jede mapping unit.....	55
Tabelle 3-2:	Klassifizierung der mapping units nach dem Schweregrad der Degradation.....	56
Tabelle 3-3:	Wichtigste der auf nationales Niveau aggregierten Erosionsindizes.....	61
Tabelle 3-4:	Übersicht der am stärksten erodierten Länder nach Region.....	65
Tabelle 3-5:	Länder mit hohem Anteil schwer erodierter Flächen (WEC3_4 > 5%) nach Region.....	72
Tabelle 4-1:	Variablen für natürliche und anthropogene Rahmenbedingungen - Legende, Quellen und Anzahl von Ländern mit Daten.....	98
Tabelle 4-2:	Klimagruppen K1 bis K6 - Mittelwerte verschiedener Ariditätsindizes und Anzahl der Länder pro Gruppe.....	108
Tabelle 5-1:	Signifikante Ergebnisse der Korrelationsanalysen für die gesamte Bodenerosion.....	116

Tabelle 5-2:	Signifikante Ergebnisse der Korrelationsanalysen für Wassererosion (W), Winderosion (E) und den Verlust an Nährstoffen und organischer Substanz (C).....	119
Tabelle 5-3:	Signifikante Ergebnisse der Korrelationsanalysen für Bodenerosion in verschiedenen Klimazonen.....	125
Tabelle 6-1:	Wertebereiche der Measure of Sampling Adequacy und Beurteilung nach KAISER und RICE.....	135
Tabelle 6-2:	Measure of Sampling Adequacy (MSA)-Werte und Testwerte des Bartlett-Tests für die verschiedenen Analysetypen	145
Tabelle 6-3:	Beispiel einer Faktorladungstabelle.....	147
Tabelle 6-4:	Eigenwerte und Anteile der extrahierten Faktoren an der Erklärung der Gesamtvarianz (GV), partiell und kumulativ.....	150
Tabelle 6-5:	Faktorwerte (FW) des Faktors „Strukturelle Landknappheit“.....	153
Tabelle 6-6:	Faktorwerte (FW) des Faktors „Strukturelle Armut“	155
Tabelle 6-7:	Faktorwerte (FW) des Faktors „Agroklimatische Bedingungen und Waldanteil“.....	157
Tabelle 6-8:	Faktorwerte (FW) des Faktors „Wachstum der Wertschöpfung in der Landwirtschaft“	158
Tabelle 6-9:	Faktorwerte (FW) des Faktors „Sophistizierung vs. Extensivierung“....	159
Tabelle 6-10:	Faktorwerte (FW) des Faktors „Hangneigung und Bodenbedingungen“.....	160
Tabelle 6-11:	Faktorwerte (FW) des Faktors „Ertragswachstum“.....	161
Tabelle 6-12:	Faktorwerte (FW) des Faktors „Historische Entwaldung“.....	162
Tabelle 6-13:	Faktorwerte (FW) des Faktors „Bodenart: Lehm- versus Tonböden“...	163
Tabelle 6-14:	Faktorwerte (FW) des Faktors „Rezente Abholzung“.....	164
Tabelle 6-15:	Faktorkorrelationsmatrix bei Oblimin-Rotation, Analysetyp (1).....	167

Tabelle 6-16: Vergleich der Ergebnisse der Faktorenanalysen - Analysetypen (1), (2), (3), (4a) und (4b).....	175
Tabelle 7-1: Liste der 16 berechneten Modelle und Fallzahlen (n).....	181
Tabelle 7-2: Ergebnisse der Regressionsmodelle für verschiedene Erosionsformen und Klimazonen.....	185
Tabelle 7-3: Verteilung der in den relevanten Regressionsmodellen enthaltenen unabhängigen Variablen - Testwerte.....	193
Tabelle 7-4: Verteilung der Residuen - Testwerte.....	194
Tabelle 7-5: Ergebnisse der Faktorenanalyse unter Einbeziehung der Variablen DGWP - Faktormuster der relevanten Faktoren.....	196
Tabelle 7-6: Korrelationskoeffizienten zwischen der langfristigen Preisentwicklung (DGWP) und der rezenten Abholzung (DEFN) sowie der Anbauintensität (CI) nach Klimazonen.....	197

VERZEICHNIS DER ANHÄNGE^{*)}

Anhang 1:	GLASOD – Ergänzende Informationen.....	A-1
Anhang 2:	Datengrundlage der empirischen Analyse.....	A-2
Anhang 3:	Definitionen, Berechnungsgrundlage und Vorgehen bei speziellen Indikatorvariablen.....	A-3
Anhang 4:	Einteilung der Länder in Klimagruppen.....	A-4
Anhang 5:	Grundlagen und Ergebnisse der Korrelationsanalysen.....	A-5
Anhang 6:	Grundlagen und Ergebnisse der Faktorenanalysen.....	A-6
Anhang 7:	Grundlagen und Ergebnisse der Regressionsanalysen und der ergänzenden Analysen.....	A-7

^{*)} Ein detailliertes Verzeichnis der Anhänge befindet sich zu Beginn des Anhangs (s. CD im Einband).

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

AEZ:	<i>Agroecological Zoning Project: „Land Resources for Populations of the Future“</i>
ASSOD:	<i>Regional Assessment of the Status of Human-induced Soil Degradation in South and Southeast Asia</i>
CPR:	<i>Common Property Resource</i> / Gemeinschaftlich genutzte Ressource
dt	Doppelzentner, 100 kg
FAO:	<i>Food and Agricultural Organization of the United Nations</i>
GIS:	Geografisches Informationssystem
GLASOD:	<i>Global Assessment of the Status of Human-induced Soil Degradation</i>
GRID:	Global Resource Information Database
GTZ:	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
ha	Hektar
HDR:	<i>Human Development Report</i> des <i>United Nations Development Programme</i>
IFAD:	<i>International Fund for Agricultural Development</i>
IIASA:	<i>International Institute for Applied Systems Analysis</i>
ISCO:	International Soil Conservation Organisation
ISRIC:	<i>International Soil Reference and Information Centre</i>
ISSS:	International Society of Soil Science
kcal	Kilokalorien
kg	Kilogramm
Mio.	Millionen
mm	Millimeter
p.c.	<i>per caput</i>
SMW:	<i>Soil Map of the World</i>
SOTER:	<i>World Soils and Terrain Digital Database</i>
FAOSTAT:	Statistische Datenbank der FAO (auch: <i>agrostat</i>)
Tsd.	Tausend
UNDP:	United Nations Development Programme
UNEP:	United Nations Environmental Programme
UNESCO:	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation
US-\$	US-Dollar
USLE:	Universal Soil Loss Equation
WB:	<i>The World Bank</i>
WMO:	<i>World Meteorological Organization</i>
WOCAT:	<i>World Overview of Conservation Approaches and Technologies</i>

Anhang A-6.2 (a): Ausgangsvariablen der Faktorenanalyse - Teil I

Klima

AHDSA	Anteil hyperariden, ariden u. semiariden Landes an der Anbaufläche [%]
H	Anteil humiden Landes an der Anbaufläche [%]
SH	Anteil subhumiden Landes an der Anbaufläche [%]
PMM_A	Durchschnittliche Jahresniederschläge [mm pro Jahr, langjähriger Ø]

Bodeneigenschaften

D1	Anteil der Landesfläche mit einer Oberbodenmächtigkeit < 10 cm [%]
D4	Anteil der Landesfläche mit einer Oberbodenmächtigkeit > 100 cm [%]
T1	Anteil der Landesfläche mit eher sandigen Böden [%]
T2	Anteil der Landesfläche mit eher lehmigen Böden [%]
T3	Anteil der Landesfläche mit eher tonigen Böden [%]

Hangneigung

S2_3	Anteil Landesfläche mit Hangneigung von > 8% [%]
S3	Anteil der Landesfläche mit einer Hangneigung von > 30 % [%]

Flächennutzungsstruktur

AA_LA	Anteil LN an der Landesfläche [%; Ø 1961-1990]
FW_LA	Anteil Waldfläche an der Landesfläche [%; Ø 1961-1990]
OL_LA	Anteil <i>other land</i> an der Landesfläche [%; Ø 1961-1990]
WAA_LA	Wachstum des Anteils LN an der Landesfläche [WR Anteil, 1961-1990]

Abholzung

DEF_ARE	Anteil Landesfläche, der Ø jährlich 1981-1990 abgeholzt wurde [WR [%Landesfläche], 1981-1990]
DEFN	Anteil Naturwald, der Ø jährlich 1981-1990 abgeholzt wurde [WR [%Naturwald], 1981-1990]

Landnutzungsstruktur

AR_AA	Anteil Ackerland an der LN [%; Ø 1961-1990]
ARPC_AA	Anteil Acker- und Dauerkulturland an der LN [%; Ø 1961-1990]
WAR_AA	Wachstum des Anteils Ackerland an der LN [WR Anteil, 1961-1990]
WPC_AA	Wachstum des Anteils Dauerkulturfäche an der LN [WR Anteil, 1961-1990]
WARPC_AA	Wachstum des Anteils Ackerland u. Dauerkulturfäche an der LN [WR Anteil, 1961-1990]
WPP_AA	Wachstum des Anteils Dauergrünland an der LN [WR Anteil, 1961-1990]

Anbaustruktur

MWAP12	Anteil der Kulturen der Erosivitätsklasse 1 und 2 an der Anbaufläche [%; Ø 1961-1990]
MWAP3	....dito für Erosivitätsklasse 3
MWAP4	....dito für Erosivitätsklasse 4
MWAP5	....dito für Erosivitätsklasse 5
WAHK12	Wachstum der mit Kulturen der Erosivitätsklasse 1 und 2 bebauten Fläche [WR ha, 1961-1990]
WAHK3	....dito für Erosivitätsklasse 3
WAHK4	....dito für Erosivitätsklasse 4
WAHK5	....dito für Erosivitätsklasse 5

LEGENDE:

LN:	Landwirtschaftliche Nutzfläche
WR:	Durchschnittliche jährliche Wachstumsrate (exponentiell berechnet)
Ø:	Mittelwert

Quelle: eigene Darstellung

Anhang A-6.2 (a): Ausgangsvariablen der Faktorenanalyse - Teil II

Intensität der Landnutzung

CI	<i>Cropping intensity</i> : Anteil Erntefläche a.d. Anbaufläche [%; ca. 1989]
PCP_T	Anteil der potentiellen Anbaufläche, der genutzt wird [%; ca. 1989]
FERT_AA	Kunstdüngerkonsum [kg/ha LN, Ø 1961-1990]
TR_AA	Traktorendichte [Stück/ha LN, Ø 1961 – 1990]
MWYCE	Erträge Getreide I (Weizen, Reis) [dt/ha, Ø 1961-1990]
MWYCG	Erträge Getreide II (Mais, Gerste, Hirse, Sorghum) [dt/ha, Ø 1961-1990]
WFER_AP	Zunahme Kunstdüngerkonsum [WR kg/ha Anbaufläche, 1961-1990]
WTR_APS	Zunahme Traktorendichte [WR Stück/ha Anbaufläche, 1961-1990]
WYCE	Ertragswachstum Getreide I [WR dt/ha, 1961-1990]
WYCG	Ertragswachstum Getreide II [WR dt/ha, 1961-1990]
MWWY	Ertragswachstum insgesamt [Ø der WR von Getreide I, II, Hülsenfrüchten, Wurzel- und Knollenfrüchten, dt/ha, 1961-1990]

Tierbesatzdichte

MWAAA	Nutztierdichte [Stück / ha LN, Ø 1961-1990]
MWBAA	Dichte großer Nutztiere [Stück / ha LN, Ø 1961-1990]
MWBPP	Dichte großer Nutztiere [Stück / ha Dauergrünland, Ø 1961-1990]
WAAA	Zunahme der Viehbesatzdichte [WR Stück / ha LN, 1961-1990]
WAPP	Zunahme der Viehbesatzdichte [WR Stück / ha Dauergrünland, 1961-1990]
WBAA	Zunahme der Dichte großer Nutztiere [WR Stück / ha LN, 1961-1990]

Bevölkerungsdruck

AEZR	Verbleibender Spielraum für bevölkerungsmäßige agrarökologische Tragfähigkeit ca. 1985 [abs.]
MWTP_LA	Bevölkerungsdichte [Personen / ha Landesfläche, Ø 1961-1990]
PDA	Bevölkerungsdichte Landwirtschaft [Personen / ha LN, Ø 1961-1990]
WAPOP_AA	Wachstum Bevölkerungsdichte Landwirtschaft [WR Personen / ha LN, 1961-1990]
WRP	Wachstum der ländlichen Bevölkerung [WR Bevölkerung, 1961-1990]
WTP	Bevölkerungswachstum insgesamt [WR Bevölkerung 1961-1990]

Armut

CAL	Tägliche Pro-Kopf-Kalorienversorgung [kcal / Person, Ø 1961-90]
HDI	Human Development Index 1992 [abs. [0 – 1], 1992]
RP_N	Anteil Armer an der ländlichen Bevölkerung [%; ca. 1988]
VAPC	Wertschöpfung i.d. Landwirtschaft (<i>value added in agriculture</i>) / landwirtschaftl. Bevölkerung [US\$ / Person u. Jahr, Ø 1961-1990]
WCAL	Zunahme Kalorienversorgung [WR kcal / Person u. Tag, 1961-1990]
WVA	Wachstum <i>value added in agriculture</i> [WR US\$, 1961-1990]
WVAPC	Wachstum <i>value added in agriculture p.c.</i> [WR US\$ / Person u. Jahr, 1961-1990]

Wert der Landnutzung

VAPHA	Wertschöpfung (<i>value added in agriculture</i>) eines Hektars [US\$ / ha LN, Ø 1961-1990]
WVAPHA	Zunahme der Wertschöpfung / ha [WR US\$ / ha, 1961-1990]

LEGENDE:

LN:	Landwirtschaftliche Nutzfläche
WR:	Durchschnittliche jährliche Wachstumsrate
Ø:	Mittelwert
p.c.:	per capita

Quelle: eigene Darstellung

EINLEITUNG

1 Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise

1.1 Problemstellung

Die Degradation landwirtschaftlicher Nutzflächen durch den Abtrag fruchtbaren Oberbodens (Bodenerosion) ist ein weltweit beobachtbares Phänomen. Sie wird insbesondere in Entwicklungsländern zum Problem, da ein Verlust der Ressource Boden dort die ohnehin unsichere Ernährungssituation weiter Bevölkerungsteile zusätzlich gefährdet (PIMENTEL et al., 1995, S. 1117; PINSTRUP-ANDERSEN et al., 1997, S. 5 f.).

Während zu Ausmaß und Schwere der Bodenerosion heute dank internationaler Forschungsbemühungen erste weltweite Informationen vorliegen (UNEP/ISRIC, 1991), herrscht über ihre Ursachen, vor allem über die auf menschliches Eingreifen zurückgehenden (anthropogenen) Ursachen wenig Klarheit, was ein wirksames Eingreifen seitens der Politik durch gezielte Bodenschutzmaßnahmen erheblich erschwert (THAMPAPILLAI und ANDERSON, 1994, S. 309 f.). Ein Grundkonsens besteht lediglich hinsichtlich der unmittelbaren landnutzerischen Ursachen der Bodenerosion. Diese werden hauptsächlich in der Übernutzung von Weideland, in der Abholzung von Waldflächen zur ackerbaulichen Nutzung oder Holzgewinnung und in ungeeigneten Anbautechniken gesehen (OLDEMAN, 1991, S. 18).

Jenseits dieser Landnutzungspraktiken fokussiert die Diskussion der anthropogenen Bestimmungsfaktoren von Bodenerosion in Entwicklungsländern zunehmend auf sozioökonomische, demographische und politische Rahmenbedingungen, die die Anbau- und Bodenschutzentscheidungen der Landnutzer maßgeblich beeinflussen (BLAIKIE, 1985). Die wichtigsten der in der Literatur diskutierten erosionsrelevanten Größen sind:

- Zunehmende Armut
- Bevölkerungsdruck
- Unsichere Landbesitzverhältnisse und die mangelhafte Einhaltung gemeinschaftlicher Landnutzungsregeln
- Preisverzerrungen auf Agrarprodukt- und Faktormärkten
- Exogener, an die ökologischen und ökonomischen Bedingungen wenig angepaßter technischer Fortschritt (PEARCE und WARFORD, 1993, S. 149 ff.).

Kennzeichnend für die mittlerweile umfangreiche wissenschaftliche Literatur ist allerdings, daß die relative Bedeutung einzelner Rahmenbedingungen sehr unterschiedlich eingeschätzt und in den wenigsten Arbeiten empirisch untersucht wird. Infolgedessen sind konkrete Ansatzpunkte für die kohärente Gestaltung von Maßnahmen zur Erosionsbekämpfung kaum abzuleiten (vgl. THAMPAPILLAI und ANDERSON, 1994, S. 309). Die wenigen empirischen Studien, in denen die Wirkung einzelner sozioökonomischer Rahmenbedingungen auf

Landnutzung und Bodenerosion untersucht werden, sind ausnahmslos auf einen lokalen Kontext bezogen; die oft widersprüchlichen Ergebnisse können dementsprechend nur begrenzt verallgemeinert werden¹. Gleichzeitig basieren sie häufig auf modelltheoretischen Annahmen zum Zusammenhang zwischen wirtschaftlichen Aktivitäten und Bodenerosion, die für die allerwenigsten Standorte erforscht sind.

Der wesentliche Grund dafür, daß überregionale Untersuchungen bislang nicht vorliegen, ist darin zu sehen, daß es lange Zeit keine einheitliche Datengrundlage für eine länderübergreifende, vergleichende Beschreibung der Bodenerosion gab. Erst in der zweiten Hälfte der 80er Jahre wurde die erste weltweite, standardisierte Erhebung zum Stand der Bodendegradation durchgeführt und schließlich 1991 fertiggestellt: das *Global Assessment of Soil Degradation* (GLASOD). In der vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) angeregten und finanzierten Erhebung wurden unter Federführung des *International Soil Reference and Information Centre* (ISRIC) in Zusammenarbeit mit weltweit rd. 250 Wissenschaftlern nach einheitlichen Leitlinien Informationen über vorherrschende Degradationstypen sowie Ausmaß und Schwere der Degradation flächendeckend zusammengestellt. Aufbauend auf den Daten für rund 2.000 untersuchte physiographische Einheiten (*mapping units*) wurde schließlich eine Degradationskarte im Maßstab 1:10 Mio. erstellt (UNEP/ISRIC, 1991).

Die im Rahmen des GLASOD erhobenen Daten bieten erstmals die Möglichkeit, Informationen zur Bodenerosion auf Länderebene zu aggregieren und damit eine quantitative Erosionsvariable als Grundlage vergleichender Analysen zu definieren. Auf diese Weise können Problemländer mit einem besonders hohen Ausmaß und besonders schwerer Bodenerosion identifiziert werden.

Vor allem aber wird anhand einer derart national aggregierten Erosionsvariablen die Voraussetzung für eine Analyse der tatsächlichen Relevanz verschiedener anthropogener Rahmenbedingungen für Ausmaß und Schwere der Bodenerosion auf breiter empirischer Basis geschaffen, da für viele der möglichen sozioökonomischen, demographischen und agrarpolitischen Erosionsdeterminanten weltweit nationale Daten vorliegen.

Durch die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte explorative Analyse anthropogener Bestimmungsfaktoren der Bodenerosion in Entwicklungsländern können auf dieser Datenbasis erstmalig überregional gültige Aussagen zur relativen Bedeutung einzelner Determinanten getroffen werden. Damit wird ein Beitrag zur Theoriebildung im Bereich der Ursachenforschung der Bodenerosion geleistet und zugleich die Entscheidungsgrundlage für Ansatzpunkte und Ausgestaltung von Maßnahmen zum Bodenschutz verbessert.

¹ Vgl. die in TEMPLETON und SCHERR (1997) und NAPIER et al. (1994) vorgestellten Studien.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Grundlegendes Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die in Entwicklungsländern bestehenden Zusammenhänge zwischen sozioökonomischen² und landnutzerischen Rahmenbedingungen auf der einen und Bodenerosion auf der anderen Seite empirisch zu erfassen. Im Mittelpunkt der Arbeit stehen die Zusammenstellung und Strukturierung einer an die Fragestellung angepaßten Datengrundlage sowie die darauf aufbauende Identifizierung, Quantifizierung und Interpretation der Wirkung relevanter Erosionsdeterminanten. Der Aufdeckung struktureller Zusammenhänge zwischen möglichen Erosionsdeterminanten auf einer breiten Datengrundlage kommt besondere Bedeutung zu, weil auf diese Weise die Analyse und Interpretation sozioökonomischer Erosionsdeterminanten im Kontext mit natürlichen und landnutzerischen Größen der Agrarentwicklung erfolgen kann.

Aus der Zielsetzung der Arbeit lassen sich folgende Unterziele ableiten:

- (1) Quantitative, vergleichende Beschreibung des Ausmaßes und der Stärke von Bodenerosion in Entwicklungsländern anhand der auf nationaler Ebene zu aggregierenden Daten des GLASOD.
- (2) Zusammenstellung einer umfassenden Datengrundlage für mögliche Erosionsdeterminanten, die die in der Literatur diskutierten erosionsrelevanten sozioökonomischen, landnutzerischen und natürlichen Rahmenbedingungen auf dem nationalen Aggregationsniveau hinreichend gut wiedergibt.
- (3) Statistische Aufdeckung und Interpretation struktureller Zusammenhänge zwischen den Variablen für mögliche Erosionsdeterminanten sowie Reduktion der Variablenanzahl auf Grundlage dieser Zusammenhänge.
- (4) Statistische Identifizierung sozioökonomischer und landnutzerischer Bestimmungsfaktoren der Bodenerosion unter Berücksichtigung der natürlichen Bedingungen und Quantifizierung ihrer relativen Bedeutung.

² Sozioökonomische, demographische und agrarpolitische Rahmenbedingungen werden hier mit dem Terminus „sozioökonomisch“ i.w.S. zusammengefaßt.

1.3 Vorgehensweise

Zunächst wird im *zweiten* Kapitel der Arbeit der Stand der Forschung zu Bodenerosion und ihren anthropogenen Ursachen zusammengefaßt wiedergegeben. Die Aufarbeitung theoretischer Ansätze zur Herleitung von Erosionsursachen und die Darstellung der in der Literatur diskutierten Ursachen und Hypothesen zu deren Wirkungsweise dienen dazu, einen Rahmen für die empirische Analyse zu schaffen. Gleichzeitig stellen die erörterten Erosionsdeterminanten einen konkreten Ausgangspunkt für die Wahl relevanter Indikatoren in der empirischen Analyse dar. Ein Überblick über Studien zu einzelnen Erosionsursachen verdeutlicht darüber hinaus, daß die empirische Basis für die Fundierung der in der Literatur diskutierten Hypothesen derzeit recht schmal ist.

Im *dritten* Kapitel wird das Ausmaß des Problems Bodenerosion in Entwicklungsländern auf Grundlage der Daten des GLASOD vergleichend dargestellt. Zunächst werden Ziele und Erhebungsmethoden des GLASOD sowie die erhobenen Daten selbst vorgestellt. Sodann wird gezeigt, wie auf Grundlage der Daten die relevanten Größen zur vergleichenden Beschreibung der Erosion für die vorliegende Arbeit extrahiert und aggregiert werden: Für jedes Land wird ermittelt, welcher Anteil der Landesfläche – Wüstenflächen ausgenommen – von verschiedenen Erosionstypen verschiedenen Schweregrades betroffen ist. Anhand der aggregierten Erosionsindizes werden Problemregionen und Problemländer identifiziert und die wichtigsten unmittelbaren Erosionsursachen im landnutzerischen Bereich dargestellt. Die aggregierten Erosionsdaten sind zugleich Grundlage der Definition nationaler Erosionsindizes für die empirische Analyse.

Im *vierten* Kapitel werden sowohl das methodische Vorgehen der empirischen Analyse als auch die Datengrundlage für anthropogene und natürliche Erosionsdeterminanten dargestellt. Die Entscheidung für eine Kombination aus explorativen Verfahren der Datenanalyse (Korrelations-, Faktorenanalyse) mit strukturenprüfenden Verfahren (Regressionsanalyse) ist vor allem darin begründet, daß eine fundierte theoretische Grundlage für die Ableitung formaler Modelle in dem Forschungsbereich nicht gegeben ist. Die Wahl des methodischen Vorgehens ist weiterhin geprägt von Besonderheiten, die sich aus dem Aggregationsniveau der Analyse ergeben, wie auch aus vermuteten Zusammenhängen unter den Erosionsdeterminanten und aus möglichen reziproken Wirkungen der Bodenerosion auf die betrachteten Rahmenbedingungen. Hinsichtlich der Datengrundlage für mögliche Determinanten werden die Kriterien bei der Auswahl von Indikatorvariablen erläutert und die Datengrundlage selbst vorgestellt: Insgesamt werden 143 Variablen sowohl für anthropogene Rahmenbedingungen als auch für die natürlichen Bedingungen aus internationalen Datensammlungen für den Zeitraum 1961 bis 1990 zusammengestellt. Um in der empirischen Analyse eine nach Klimazonen differenzierte Betrachtung durchführen zu können, werden die betrachteten Länder dann anhand einer Clusteranalyse nach den vorherrschenden agroklimatischen Bedingungen gruppiert.

Im *fünften* Kapitel werden die Ergebnisse der Korrelationsanalysen vorgestellt. Die Einfachkorrelationskoeffizienten zwischen Indikatorvariablen für mögliche Erosionsdeterminanten und Erosionsindizes dienen einer ersten Einschätzung der Zusammenhänge. Sie werden sowohl für die gesamte Bodenerosion und alle Länder durchgeführt als auch differenziert nach Klimazonen und für verschiedene Erosionsformen und Schweregrade.

Anhand der Faktorenanalyse nach der Hauptkomponentenmethode wird im *sechsten* Kapitel untersucht, inwieweit lineare Strukturen unter der Vielzahl von Variablen für mögliche Erosionsdeterminanten erkennbar sind. Dies ist die Grundlage nicht nur für die Reduktion der Variablenanzahl bei gleichzeitiger Verringerung von Multikollinearitätsproblemen, sondern auch für eine umfassende Interpretation erosionsrelevanter Faktoren. Insgesamt können 73 Länder und 62 Variablen mit annähernd vollständigen Datensätzen in die Analyse einbezogen werden. Auf eine allgemeine Darstellung der Methode und der für die Fragestellung gewählten spezifischen Vorgehensweise folgt die Erläuterung der Ergebnisse der Faktorenanalysen für verschiedene Ausgangsvariablensets und die eingehende Interpretation der extrahierten Faktoren.

Im *siebten* Kapitel wird regressionsanalytisch untersucht, welche der Faktoren Bedeutung für das Ausmaß der Bodenerosion haben. Für jeden der identifizierten Faktoren wird eine Repräsentantenvariable ausgewählt. Sämtliche Repräsentantenvariablen fließen als Ausgangsvariablen in die Regressionsanalyse ein, die nach einem stufenweisen Verfahren durchgeführt wird. Anhand der Regressionsergebnisse werden relevante Determinanten bzw. die Faktoren, für die sie stehen, identifiziert und deren relative Bedeutung quantifiziert. Wiederum werden Analysen sowohl für alle Länder als auch getrennt nach Klimazonen und für einzelne Erosionsformen vorgenommen. Für drei wichtige Variablen aus den Bereichen Armut und Preisentwicklung, die in der Faktorenanalyse wegen unzureichender Datenverfügbarkeit nicht berücksichtigt werden konnten, werden zusätzlich ergänzende Faktoren- und Regressionsanalysen entsprechend dem geschilderten methodischen Vorgehen, aber anhand einer reduzierten Länderanzahl (56) durchgeführt.

Die Ergebnisse der empirischen Analyse werden im *achten* Kapitel im Kontext der theoretischen Diskussion über die anthropogenen Determinanten der Bodenerosion und der Ergebnisse anderer Studien diskutiert. Auch werden die Möglichkeiten und Grenzen der in der empirischen Analyse angewandten Methoden beurteilt. Darauf aufbauend werden wesentliche Implikationen der Ergebnisse für die Gestaltung von Politikmaßnahmen abgeleitet sowie Bereiche und Methoden benannt, deren Weiterentwicklung in künftigen Forschungsarbeiten eine Vertiefung der gewonnenen Erkenntnisse erwarten läßt. Abschließend werden die wesentlichen Aussagen der Arbeit in deutscher und englischer Sprache zusammengefaßt (*neuntes* und *zehntes* Kapitel).

THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND AUSMASS DER BODENEROSION

2 Einfluß anthropogener Rahmenbedingungen auf Landnutzung und Bodenerosion - Theoretische Ansätze, Hypothesen und empirische Studien

In diesem Kapitel wird der Stand der Forschung zu Bodenerosion und ihren anthropogenen Ursachen im landnutzerischen, sozioökonomischen und agrarpolitischen Bereich zusammengefaßt wiedergegeben. Die Aufarbeitung theoretischer Ansätze zur Herleitung von Erosionsursachen und die Darstellung der in der Literatur diskutierten Ursachenkomplexe und Hypothesen zu deren Wirkungsweise dienen dazu, einen Rahmen für die empirische Analyse zu schaffen. Gleichzeitig stellen die vorgestellten Erosionsdeterminanten einen konkreten Ausgangspunkt für die Wahl relevanter Indikatoren in der empirischen Analyse dar. Anhand vorliegender Studien zu einzelnen erosionsrelevanten Determinanten wird darüber hinaus verdeutlicht, daß die bestehende empirische Grundlage für die Fundierung der Hypothesen über mögliche Erosionsdeterminanten insbesondere wegen bislang unzureichender Daten über Bodenerosion sehr schmal ist.

Der erste Abschnitt (2.1) enthält neben einer allgemeinen, historischen Einleitung eine Übersicht über ökonomische Theorien und Ansätze, anhand derer die Fragestellung behandelt wird. Im Vordergrund stehen die Herleitung von Erosionsdeterminanten aus produktionsökonomischen Ansätzen und aus der Theorie der Externen Effekte sowie die Einbeziehung institutioneller und politisch-ökonomischer Aspekte. Diese systematische Übersicht ist vor allem deshalb wichtig, weil eine einheitliche Theorie und ein allgemein anerkanntes methodisches Instrumentarium zur Prüfung einer solchen Theorie für den Forschungsbereich bislang nicht existieren³.

Im zweiten Abschnitt (2.2) werden die wichtigsten in der Literatur diskutierten Hypothesen zu folgenden vier anthropogenen Ursachenkomplexen und die angenommenen Wirkungsmechanismen konkret beschrieben: Armut, Bevölkerungsdruck, Agrarpreise und ihre Beeinflussung durch Sektor- und makroökonomische Politiken sowie die Entwicklung und Verbreitung unangepaßten technischen Fortschritts. Obwohl diese Ursachenkomplexe z.T. eng miteinander in Zusammenhang stehen, werden sie der Klarheit halber einzeln vorgestellt, auf Interdependenzen wird an entsprechender Stelle hingewiesen.

Im dritten Abschnitt (2.3) werden Methoden und Ergebnisse empirischer Studien zum Thema vorgestellt. Dabei werden methodische und Datendefizite aufgezeigt.

³ THAMPAPILLAI und ANDERSON bemerken: „*The literature also reveals a tendency for the research on decision frameworks to be compartmentalized in terms of the various concepts...Hence, there is also a need for combining these concepts into a single decision framework, since the application of such a framework is more likely to yield a robust set of policies.*“ (1994, S. 309).

2.1 Forschungsrichtungen und theoretische Ansätze zur Analyse von Bodenerosion und ihrer Ursachen

2.1.1 Historischer Überblick

Wissenschaftler haben sich immer dann besonders mit Erosionsprozessen beschäftigt, wenn die durch Bodenerosion verursachten Schäden von den Landnutzern und der Gesellschaft als solche wahrgenommen und bewertet wurden. Zunächst konzentrierte sich die Forschung auf die USA, wo in den 30er Jahren, der sogenannten *dust bowl era*, weite Landstriche vor allem in den südwestlichen Bundesstaaten von schweren Wind- und auch Wassererosionsschäden betroffen waren. Einzelne Autoren haben schon damals auf die soziale und ökonomische Dimension des Problems verwiesen (SCHICKELE, 1935; CIRIACY-WANTRUP, 1938; zitiert in THAMPAPILLAI und ANDERSON, 1994, S. 201). Sie heben als übergeordnete Ursachen der Bodenerosion vor allem die Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion anhand nicht-standortgerechter Technologien und Landnutzungspraktiken hervor. Dennoch hatten Forschung und staatliche Programme zur Bekämpfung der Bodenerosion in den folgenden Jahrzehnten einen sehr naturwissenschaftlichen und technischen Charakter. Im Zentrum der Bemühungen stand die Bestimmung des komplexen Zusammenspiels und der relativen Bedeutung erosionsrelevanter natürlicher Größen - Niederschlagsintensität, Bodenart, Topographie und Bodenbedeckung. Landnutzerische, und damit anthropogene Einflußgrößen fanden ausschließlich im Zusammenhang mit der Bodenbedeckung durch einzelne Kulturen und bei bestimmten Anbautechniken und Erosionsschutzpraktiken Berücksichtigung. Auf Grundlage einer Vielzahl empirischer Daten für einzelne Versuchsparzellen konnte schließlich ein Modell zur Schätzung des Bodenabtrags durch Wasser formuliert werden, die *Universal Soil Loss Equation* (USLE), anhand derer für jeden Standort die „besten“ Bodenschutzpraktiken bestimmt werden sollten⁴. Wie mechanistisch der hinter diesem Vorgehen stehende Ansatz ist, geht aus folgender Erklärung von WISHMEIER und SMITH, die die USLE zu Beginn der 60er Jahre entwickelten, hervor:

„The Universal Soil Loss Equation (USLE) enables planners to predict the average rate of soil erosion for each feasible alternative combination of crop system and management practices in association with a specific soil type, rainfall pattern, and topography. When these predicted losses are compared with given soil loss tolerances, they provide specific guidelines for effecting erosion control within specified limits.“ (WISHMEIER und SMITH, 1978, Abstract).

Erst zu Beginn der 70er Jahre wurde die Forschung zu sozialen und ökonomischen Aspekten der Bodenerosion und des Bodenschutzes wieder aufgenommen, wiederum in den USA. Anlaß für diese Neuorientierung war vor allem die Erkenntnis, daß die staatlichen Bodenschutzprogramme, die die Budgets zwischen 1935 und 1977 mit rund 20 Milliarden US-\$

⁴ Analog wurde später auch ein Modell für Winderosion, die *Wind Erosion Equation* aufgestellt.

belastet hatten, zum Boden- und Gewässerschutz nur unwesentlich beitragen konnten, so daß die Effizienz des Einsatzes öffentlicher Gelder und damit gesellschaftliche Kosten- und Nutzenaspekte des Bodenschutzes in den Vordergrund rückten⁵.

Die Programme basierten auf der freiwilligen Inanspruchnahme von Fördermitteln durch die Landwirte. Einerseits hatten jedoch weniger Landwirte als erwartet an den Programmen teilgenommen, so daß es notwendig wurde, den sozialen und ökonomischen Gründen für die Teilnahme bzw. für die Einführung oder Nicht-Einführung von Bodenschutzmaßnahmen auf betrieblicher Ebene nachzugehen. Andererseits wurde deutlich, daß die an den Programmen beteiligten Landwirte die Bodenschutzmaßnahmen nach Ablauf ihrer vertraglichen Verpflichtungen nicht nachhaltig weiterbetrieben. So konnte vermutet werden, daß trotz der finanziellen Anreize eine Divergenz zwischen den Bodenschutzzielen der Landwirte und denen des Staates vorlag. Die einsetzende Neuorientierung der Erosionsforschung bestand grundsätzlich in (1) einer fachlichen Öffnung von den Naturwissenschaften hin zu agrarwissenschaftlichen, ökonomischen und soziologischen Ansätzen, (2) der Verwendung ökonomischer Methoden und Modelle zur Bewertung der Bodenerosion und (3) in der Abkehr vom „Parzellendenken“ der klassischen *Soil Scientists* hin zu größeren, allgemeineren Untersuchungs- und Abstraktionseinheiten, also einem höheren Aggregationsniveau.

Forschung und Literatur zum sozioökonomischen Kontext von Bodenerosion in Entwicklungsländern sind noch jüngeren Datums. Die Motivation, sich speziell für Entwicklungsländer mit dem Thema zu beschäftigen, war vor allem auch bedingt durch eine sehr geringe Akzeptanz von Bodenschutzprogrammen, die sich auf teure Investitionen konzentrierten (BIOT et al., 1995, S. 5). Bei der Wahrnehmung des Problems, seiner Ursachen und möglicher Lösungsansätze haben die jeweils gültigen allgemeinen Entwicklungstheorien deutliche Spuren hinterlassen. BIOT et al. haben versucht, die verschiedenen Strömungen zu kategorisieren und kommen zu drei Sichtweisen (*main approaches*): (1) die „klassische“, die den technisch orientierten Konzepten der USA in den 40er und 50er Jahren folgt und modernisierungstheoretischen Ansätzen entsprechend in irrational handelnden, traditionell orientierten Landnutzern die Hauptverursacher der Bodendegradation sieht; (2) die „populistische“ Sichtweise, die ihren Hintergrund in soziologischen, institutionellen und dependenztheoretischen Ansätzen hat; und (3) die heute dominante „neoklassische“ Sichtweise, die um institutionelle und soziale Aspekte erweiterte ökonomische Ansätze in den Vordergrund rückt⁶. Letztere, neoklassische Sichtweise liegt der Darstellung der wichtigsten theoretischen Ansätze zur ökonomischen Analyse der Bodenerosion und ihrer Ursachen im folgenden Abschnitt zugrunde.

⁵ Vgl. hierzu ERVIN und ERVIN, 1982, S. 277f., die eine Übersicht über die Forschungsarbeiten dieses Jahrzehnts geben. S. auch CAMBONI und NAPIER, 1994, S. 62ff.

⁶ BIOT et al. geben eine tabellarische Übersicht, s. BIOT et al., 1995, S. 2.

2.1.2 Theoretische Ansätze zur ökonomischen Analyse der Bodenerosion und ihrer Ursachen

Die ökonomische Analyse von Bodenerosion und ihren Ursachen ist heute von neoklassischen ökonomischen Konzepten geprägt, zunehmend werden auch institutionelle und politisch-ökonomische Aspekte berücksichtigt. Die Bewertung der Ressource Boden als Produktionsfaktor hat einerseits zu der Analyse anhand produktionsökonomischer Ansätze geführt, in die gerade auch im Entwicklungsländerkontext dynamische Größen wie Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum und technischer Fortschritt einbezogen werden. Andererseits werden Erosionsschäden, die außerhalb der Landwirtschaft auftreten (*off-site* Effekte), im Rahmen der Theorie externer Effekte diskutiert.

***On-site* Effekte: Boden als Input in die landwirtschaftliche Produktion**

Der bedeutendste *on-site* Erosionsschaden, der den verursachenden Landnutzer also selbst betrifft, ist sowohl in Industrie- als auch in Entwicklungsländern zweifellos der erosionsbedingte Produktivitätsverlust des Bodens⁷. Das wird beispielsweise auch aus den in Kapitel 3 dargestellten GLASOD-Kriterien zur Beurteilung des Degradationsgrades deutlich: Hier wird die Schwere der Degradation in erster Linie anhand von Ausmaß und Reversibilität degradationsbedingter Produktivitätseinbußen beurteilt⁸. Daß annahmegemäß rational handelnde Landnutzer diesen Produktivitätsverlust offenkundig hinnehmen, hat zum Konzept der Bodenerosion bzw. des Bodenschutzes als Input in die landwirtschaftliche Produktion geführt (vgl. z.B. RUTHENBERG, 1976, S. 2).

In gewisser Weise wurde so der Boden als Produktionsfaktor neu entdeckt. Neu ist dabei, daß über die klassischen, eher statischen und standortbezogenen Bodenwerte „Erzeugungskraft“ oder „Ertragsfähigkeit“ (STEINHAUSER et al., 1982, S. 32; BRANDES und WOERMANN, 1971, S. 14) hinaus nun eher differenzierte Bodenqualitäten wie Oberbodentiefe, Wasserhaltekapazität, Marginalität, Erosionsrisiko, Produktivität u.v.m. betrachtet werden. Wichtiger noch ist aber, daß die zeitliche Dimension der erosionsbedingten Veränderung der Bodenproduktivität in den Vordergrund tritt. All dies entspricht im wesentlichen der Wahrnehmung des Bodens als natürlicher Ressource, wobei - in Abhängigkeit von der Reversibilität der Schäden - sowohl von einer erneuerbaren als auch von einer nicht-erneuerbaren Komponente ausgegangen wird.

⁷ Weitere *on-site* Schäden sind z.B: Verluste an Jungpflanzen, Pestiziden und Terrassen. Welche Bodenqualitäten durch Erosion im einzelnen beeinträchtigt werden (Wasserhaltekapazität, Verlust organischer Substanz, Verminderung der Wurzelzone, etc.) wird z.B. bei YOUNG, 1978, S. 295, dargestellt.

⁸ Nach STOCKING wird Bodenproduktivität definiert als: „...the productive potential of the soil system that allows accumulation of energy in the form of vegetation.“ (STOCKING, 1984, S. 8).

Im produktionsökonomischen Kontext stehen als Determinanten der Bodenschutzentscheidung eines Betriebes - oder umgekehrt bzgl. der Ursachen von Bodenerosion - die Wirtschaftlichkeit und Finanzierbarkeit von Bodenschutz im Vordergrund⁹ (vgl. Abbildung 2-1). Damit eng verbunden sind betriebsinterne Größen, von denen Wirtschaftlichkeit und Finanzierbarkeit abhängen, wie z.B. Zeitpräferenz und Zeithorizont sowie Diskontraten der Landnutzer, Liquiditätsaspekte - vor allem im Zusammenhang mit der Finanzierung von Bodenschutzinvestitionen und der Möglichkeit der Substitution erodierten Bodens durch andere Produktionsfaktoren - , das Risikoverhalten und der Informationsstand der Landnutzer. Die Sicherheit der Landbesitzverhältnisse wird aus dem produktionsökonomischen Blickwinkel vor allem in Zusammenhang mit Zeithorizont und Zeitpräferenz der Landnutzer gesehen. Als betriebsexterne Größen, die die Wirtschaftlichkeit des Bodenschutzes determinieren, werden die Verfügbarkeit von Krediten im Zusammenhang mit den genannten Liquiditätsaspekten hervorgehoben sowie agrar- und wirtschaftspolitische Eingriffe, die sich auf Preise, landwirtschaftliche Einkommen, den Zugang zu Land sowie die Entwicklung und Verbreitung neuer Produktionstechnologien beziehen (THAMPAPILLAI und ANDERSON, 1994, S. 298; NAPIER, 1989, S. 20 f.).

Abbildung 2-1: Aus der Produktionsökonomie abgeleitete Determinanten der Wirtschaftlichkeit und Finanzierbarkeit des Bodenschutzes im landwirtschaftlichen Betrieb

Betriebsinterne Größen:	Betriebsexterne Größen:
<ul style="list-style-type: none"> • Zeitpräferenz und Zeithorizont • Risikoverhalten • Einkommen und Liquidität • Information 	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherheit der Landbesitzverhältnisse • Verfügbarkeit von Krediten • Agrar- und wirtschaftspolitische Eingriffe → Wechselkurse, Preise, landwirtschaftliche Einkommen, Zugang zu Land, Krediten, Produktionstechnologie, etc.
Langfristig wirksame Größen:	
<ul style="list-style-type: none"> • Bevölkerungswachstum • Wirtschaftsentwicklung • Technischer Fortschritt 	

Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von THAMPAPILLAI und ANDERSON, 1994, S. 295 ff. und BARBIER und BISHOP, 1995, S. 133 ff.

⁹ Vgl. THAMPAPILLAI und ANDERSON, 1990, S. 11 ff. und 1994, S. 295 ff.; BARBIER und BISHOP, 1995, S. 133; REARDON und VOSTI, 1997a, S. 140.

Im Rahmen der Entwicklungsländerforschung werden ausgehend von diesem produktionsökonomischen Ansatz zudem langfristig¹⁰ wirksame Größen wie das Bevölkerungswachstum, die allgemeine wirtschaftliche Entwicklung und technischer Fortschritt als treibende Kräfte in die Betrachtung mit einbezogen. Über die kurz- bis mittelfristige Wirtschaftlichkeit und Finanzierbarkeit des Bodenschutzes hinaus wird die Wirkung der genannten Größen vor allem auf die relativen Faktorknappheiten und auf sich daraus ergebende Entwicklungsmuster oder -pfade und deren jeweilige Wirkung auf den Boden untersucht¹¹. Theoretischer Hintergrund für derartige Betrachtungen sind die Malthus'sche Bevölkerungstheorie und die Theorie der Induzierten Innovation (BOSERUP, 1965, 1981 und 1990; BINSWANGER und RUTTAN, 1978).

***Off-site* Schäden als Externe Effekte der Landnutzung**

Die *off-site* Schäden sind dadurch gekennzeichnet, daß sie nicht am Ort des Bodenabtrags und seiner direkten Ursachen, also auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche des Schädigers auftreten, sondern die Ablagerung des abgetragenen Bodens an anderem Ort betreffen. Abgesehen davon, daß sich abgetragener Boden auch innerhalb eines Betriebes wieder ablagern kann, werden unter *off-site* Schäden typischerweise die Ablagerung von Bodenpartikeln auf Verkehrswegen, in Stauseen und Gewässern, die zu Verschüttung, Verschlammung und Eutrophierung führt, sowie die Luftverschmutzung durch Winderosion verstanden. Begreift man Bodenerosion als Begleiterscheinung der landwirtschaftlichen Produktion, so entsprechen die *off-site* Schäden einer klassischen Externalität: Sie entstehen bei der Produktion durch den Landnutzer, schädigen andere Landnutzer oder die Gesellschaft und werden nicht über einen Preis oder andere marktmäßige Austauschbeziehungen entgolten¹². Insofern sind die mit *off-site* Schäden verbundenen Kosten der Bodenerosion als soziale Kosten im Zusammenhang mit der Fehlallokation von Ressourcen - im wahrsten Sinne des Wortes! - zu sehen.

Bzgl. der Ursachen von Bodenerosion hat das Externalitäten-Konzept dazu geführt, daß den allgemeinen Ursachen Externer Effekte für den speziellen Fall der Bodenerosion nachgegangen wurde (vgl. WORLD BANK, 1992, S. 64; BARBIER, 1997, S. 119; PERMAN et al., 1996, S. 93 ff.). Von den in Abbildung 2-2 dargestellten Ursachenkomplexen im Bereich Markt- und Politikversagen haben die ersten vier gemeinsam, daß die

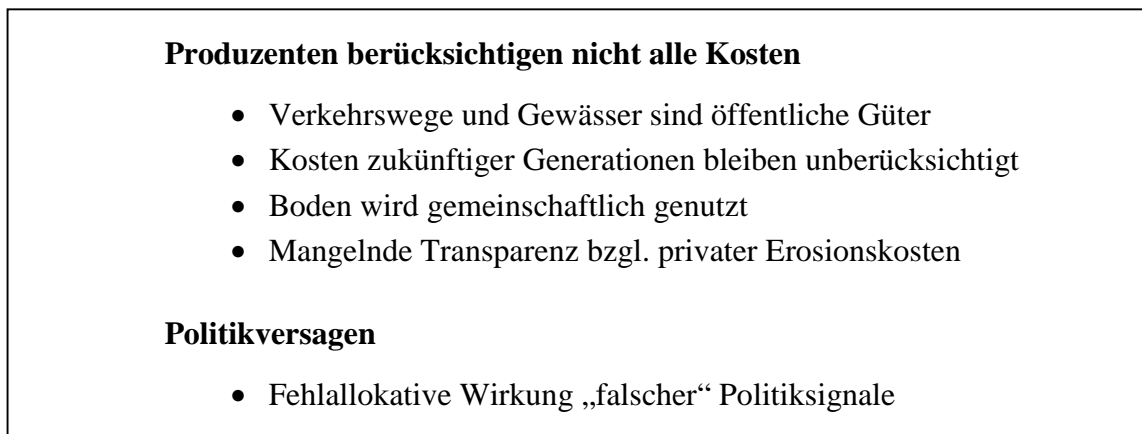
¹⁰ Mit langfristig werden hier entsprechend der allgemeinen ökonomischen Definition Zeiträume von über 5 Jahren bezeichnet. Die angesprochenen Einflußgrößen werden häufig erst nach 10 bis 20 oder mehr Jahren wirksam. Im folgenden orientieren sich auch die Begriffe kurzfristig (<1 Jahr) und mittelfristig (1-5 Jahre) an den allgemeinen ökonomischen Definitionen, sind aber eher als Richtwerte und nicht als konkrete Zeiträume zu verstehen.

¹¹ Vgl. z.B. PENDER (1998); KRAUTKRAEMER (1994); LIPTON (1997).

¹² Zur Definition von Externalitäten vgl. z.B. PERMAN et al.: „An external effect, or externality for short, is said to occur when the production or consumption decisions of one agent affect the utility of another agent in an unintended way, and when no compensation is made by the producer of the external effect to the affected party.“ (1996, S. 95).

Produzenten nicht alle bei der Produktion entstehenden Kosten berücksichtigen. Da die verschütteten Verkehrswege, Stauseen und Gewässer den Charakter öffentlicher Güter haben, vernachlässigt der verursachende Produzent Schäden und Kosten, die diese betreffen, bei seinen Entscheidungen, sofern sie ihn nicht wiederum indirekt schädigen. Somit entstehen gesellschaftliche Kosten bzw. ein Wohlfahrtsverlust.

Abbildung 2-2: Aus der Theorie der Externen Effekte abgeleitete Determinanten der Bodenerosion im Bereich Markt- und Politikversagen



Quelle: eigene Darstellung nach v. MAYDELL (1994, S. 38)

Der Begriff des öffentlichen Gutes läßt sich auf den Boden ausdehnen, wenn man dessen zukünftige Nutzer einbezieht. Mißt der derzeitige Produzent den künftigen Nutzern seines Bodens keinen oder einen geringeren Wert bei als diese selbst oder als die Gesellschaft insgesamt, so ist der verursachte Erosionsschaden nicht geographisch, sondern zeitlich als *off-site* Schaden oder als *off-time* Schaden zu begreifen, und der Boden intertemporal als öffentliches Gut. Geht man in diesem Zusammenhang davon aus, daß die Landnutzer grundsätzlich Interesse an dem Wohlergehen ihrer Nachkommen und Erben haben, so kann z.B. die Unsicherheit bzgl. des zukünftigen Landbesitzes die eigentliche Ursache für das erosive Verhalten der Landnutzer sein.

Immer wieder wird die gemeinschaftliche Nutzung von Boden als Grund für die Nicht-Berücksichtigung von Erosionskosten durch einzelne Produzenten genannt. Das auf HARDIN (1968) zurückgehende wesentliche Argument der sogenannten *tragedy of the commons* lautet, daß bei gemeinschaftlicher Nutzung einer Ressource durch viele einzelne Nutzenmaximierer dem einzelnen zwar der volle Nutzen einer zusätzlichen Beanspruchung des Bodens zukommt, die dadurch entstehenden Kosten - z.B. durch Erosionsschäden - aber von der Gemeinschaft getragen werden und für den einzelnen Nutzer verhältnismäßig gering sind, so daß dieser dazu tendiert, die Ressource entgegen den Interessen der Gemeinschaft zu übernutzen. Wichtig ist deutlich zu machen, daß HARDINs Argumentation

sich im Grunde auf *open access resources* und nicht auf gemeinschaftlich genutzte Ressourcen (*common property resources*) als solche bezieht, wie MAGRATH treffend bemerkt:

„Hardin's somewhat misnamed 'tragedy of the commons' can be interpreted as a consequence of the collective utilization of a non-exclusive open access resource.“
(MAGRATH, 1988, zitiert in THAMPAPILLAI und ANDERSON, 1994, S. 306; ähnlich argumentiert auch PEARCE, 1988, S. 109).

Weiterhin ist es durchaus möglich, daß der erosionsverursachende Produzent die Erosionsschäden nicht sofort wahrnimmt oder ihre Kosten unterschätzt und diese Schäden deswegen in seiner Produktionsentscheidung nicht hinlänglich berücksichtigt (vgl. SCHERR und HAZELL, 1994, S. 20).

Die im Bereich des Politikversagens genannten Ursachen der Externalität Bodenerosion haben immer mit im Sinne des Bodenschutzes „falschen“ Politiksignalen an die Landnutzer zu tun, die zur Fehlallokation von Boden führen. Sie ergeben sich - abgesehen von konzeptionellen oder Umsetzungsfehlern bei klassischen Bodenschutzpolitiken - im Grunde aus Mängeln bei der Koordination wirtschaftspolitischer und ernährungspolitischer Ziele und Maßnahmen auf der einen Seite sowie von Bodenschutzzielen und -maßnahmen auf der anderen Seite.

Berücksichtigung institutioneller und politischer Aspekte

In den genannten erosionsrelevanten produktions- und wohlfahrtsökonomischen Konzepten finden sich bereits Hinweise darauf, daß die Berücksichtigung institutioneller und politischer Aspekte bei der Analyse sozioökonomischer Erosionsursachen wichtig ist. Beispiele hierfür sind all jene Punkte, in denen es um die Sicherheit und Verfügbarkeit von Krediten, Land, Information und Produktionstechnologie geht, um den Einfluß politischer Rahmenbedingungen sowie die Diskussion um gemeinschaftlich genutztes Land. Hierbei steht weniger die Funktionsweise des Marktmechanismus unter Einbeziehung der Bodenerosion im Vordergrund, sondern eher die tatsächlich möglichen Handlungsalternativen (*options for action*) und Interessen der Landnutzer und anderer Akteure sowie institutionelle Regeln, die diese Handlungsalternativen bestimmen¹³.

¹³ OTERO et al. bemerken hierzu: „*To date, markets have been unsuccessful in allocating resources and generating 'sustainable' behaviour because the problem does not lie in market mechanism per se, but in how the players are organized and how effective are the rules established to promote environmentally sound behavior.*“ (OTERO et al., 1992, zitiert in MAY und BONILLA, 1997, S. 17). Vgl. auch HATZIUS, 1995, S. 1 ff., SCHMITT, 1994, S. 576 f.).

Insbesondere zwei Bereiche können identifiziert werden, in denen die institutionenökonomische und die politisch-ökonomische Herangehensweise neue Aspekte bzgl. der Ursachen von Bodenerosion hervorgebracht haben. Zum einen führt die Betrachtung gemeinschaftlich genutzter Ressourcen (*Common Property Resources*) aus institutionenökonomischer Perspektive zu einer Umbewertung der Rolle, die ihnen im Zusammenhang mit der *tragedy of the commons* zugewiesen wird. Durch die Festlegung von Nutzungsregeln können Transaktionskosten gespart werden und dadurch auch Kosten, die die Ressource Boden betreffen. Einige Autoren sehen in der Verringerung gemeinschaftlich bewirtschafteter Ressourcen sogar eine wesentliche Ursache der Bodendegradation in Entwicklungsländern (LIPTON, 1997a, S. 79 und 88 f.). Beispiele für Fälle, in denen funktionierende Nutzungsregeln eine Übernutzung gemeinschaftlich bewirtschafteten Bodens verhindern, finden sich in der Literatur für viele verschiedene Klimazonen und Landnutzungssysteme. Von besonderem Stellenwert scheinen sie in ariden und semiariden Regionen zu sein. An einer Stelle treffen sich die Argumente der *tragedy of the commons* und die institutionelle Sichtweise aber wieder: Es wird eingeräumt, daß starker Bevölkerungs- oder auch Privatisierungsdruck meist dazu führt, daß die bodenschonenden Nutzungsregeln vom einzelnen nicht mehr eingehalten werden (vgl. MINK, 1993, S. 10, LIPTON, 1997a, S. 88).

Zum anderen ist die Bedeutung politischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen, Interessen und Institutionen für die Produktionsentscheidung und „Erosionsentscheidung“ der Landnutzer insgesamt stärker ins Bewußtsein getreten¹⁴. Der wichtigste Beitrag, den BLAIKIE mit seinem 1985 publizierten „*The Political Economy of Soil Erosion in Developing Countries*“ geleistet hat, ist, daß er die an Bodenerosion beteiligten Akteure und Institutionen, ihre Interessen und Entscheidungsspielräume aufgezeigt und ins Verhältnis zueinander gesetzt hat. So wurden zwei neue Dimensionen in die Diskussion getragen: die der Hierarchie und die der Aggregationsebene, was in seiner Metapher der *Chinese boxes*¹⁵ besonders anschaulich wird:

„In summary, soil erosion problems can be analysed in a framework of Chinese boxes, each fitting inside the other. The individual within a household, the household itself, the village or local community, the local bureaucracy, the bureaucracy, government and nature of the state, and finally international relations all represent contexts within which actions affecting soil erosion and conservation take place. A specific analysis must identify these contexts and the relationships between them.“ (BLAIKIE, 1985, S. 88).

¹⁴ Vgl. z.B. WORLD BANK, 1992, S. 20, S. 64ff., S. 83ff.

¹⁵ Im Deutschen bzw. eingedeutschten Russischen kommt dem am ehesten die „Matriotschka“ gleich.

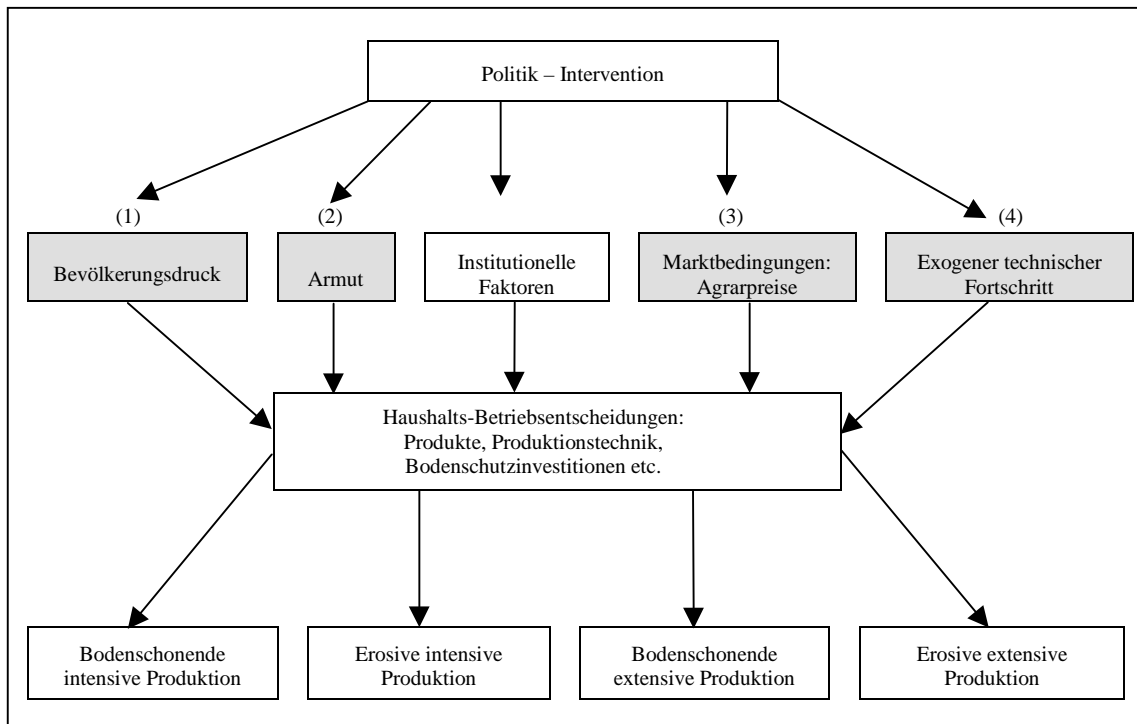
Auf methodischer und auch auf der Projektebene hat dieser Ansatz zu einer Fokussierung auf die niedrigste Aggregationsebene, den Produktionsstandort, und auf partizipatorische Analyse- und Umsetzungsmethoden unter weitgehender Einbeziehung der lokalen Produzenten und Organisationen geführt (vgl. BIOT, 1995, S. 6).

Schließlich hat die Kombination der beschriebenen Ansätze zu der Entstehung neuer Herangehensweisen beigetragen, in denen auf der Grundlage produktions- und ressourcenökonomischer Elemente, der Theorie der Induzierten Innovation und institutioneller Aspekte versucht wird, einen differenzierteren - nicht unbedingt komplexeren - Rahmen für die Analyse der anthropogenen Ursachen von Bodenerosion zu schaffen. TEMPLETON und SCHERR (1997) leiten anhand der Theorie der Induzierten Innovation und aus den Ergebnissen zahlreicher empirischer Studien einen mikroökonomischen Ansatz ab, in dem die Bodenschutzentscheidung der Landnutzer im Rahmen von Marktbedingungen, institutionellen und organisatorischen Bedingungen, verfügbaren Informationen und Technologien, Bevölkerungsdruck und übergeordneten politischen Interventionen analysiert wird. Da dieser Ansatz damit die wichtigsten der derzeit in der Literatur diskutierten Ursachenkomplexe umfaßt – bis auf die Determinante Armut –, wird er im folgenden Abschnitt in der Abbildung 3-3 schematisch wiedergegeben (um die Determinante Armut ergänzt) und als Grundlage für die Gliederung der vorgestellten Ursachenkomplexe verwendet.

2.2 Hypothesen zur Wirkungsweise wichtiger Einflußgrößen

Unter Einbeziehung der im vorigen Abschnitt genannten theoretischen Ansätze werden im folgenden vier wichtige Ursachenkomplexe für das Vorkommen von Bodenerosion in Entwicklungsländern besprochen: Bevölkerungsdruck und induzierte Innovation (3.2.1), Armut und Wohlstandswachstum (3.2.2), kurz- und langfristige Wirkungen des Agrarpreisniveaus und von Agrarpreisrelationen (3.2.3) sowie die exogene Entwicklung und Verbreitung neuer Produktionstechnologien (3.2.4). Wie in Abbildung 2-3 dargestellt, wird jede dieser Ursachen prinzipiell von politischen Rahmenbedingungen beeinflusst. Die Bedeutung agrarpolitischer und makroökonomischer Interventionen wird im folgenden insbesondere bei der Diskussion über die Wirkung von Agrarpreisen auf die Produktions- und Investitionsentscheidung landwirtschaftlicher Haushalts-Betriebssysteme hervorgehoben.

Abbildung 2-3: Wesentliche in der Literatur diskutierte Ursachen der Boden-erosion in Entwicklungsländern und prinzipielle Wirkungsweise¹⁾



¹⁾ ...Die im folgenden vorgestellten Ursachen sind grau unterlegt und entsprechen der Reihenfolge ihrerDarstellung nummeriert.

Quelle: eigene Darstellung nach TEMPLETON und SCHERR, 1997, S. 30

Die theoretische Diskussion über institutionelle Rahmenbedingungen im allgemeinen und Landbesitzverhältnisse und gemeinschaftlichen Nutzung von Flächen im speziellen wird an dieser Stelle aus zwei Gründen nicht explizit behandelt. Erstens gibt es bislang keinerlei Daten, anhand derer sich die Art und Qualität von Landbesitzverhältnissen und von Nutzungsregelungen gemeinschaftlich bewirtschafteter Flächen auf dem Aggregationsniveau der Analyse beschreiben ließen, weswegen sie in der empirischen Analyse nicht berücksichtigt werden. Zweitens ist eine allgemeine, globale Einschätzung bestimmter Landbesitzverhältnisse und Nutzungsregelungen in Bezug auf Bodendegradation auch deswegen sehr schwierig und möglicherweise wenig sinnvoll, weil sich ihre Ausgestaltung sehr stark am lokalen Kontext orientiert und deshalb eine Kategorisierung und Beurteilung nach standardisierten Maßstäben kaum möglich ist¹⁶. Schließlich werden sie insofern mitbehandelt, als sie auch von Bevölkerungsdruck, Armut und veränderten politischen Rahmenbedingungen betroffen sind.

¹⁶ Als weiterführende Literatur sei z.B. verwiesen auf LARSON und BROMLEY (1990). Die Autoren fassen die theoretische Diskussion zusammen und zeigen anhand eines dynamischen Haushalts-Betriebsmodells, daß die gemeinschaftliche Nutzung von Ressourcen modelltheoretisch nicht zu stärkerer Degradation führen muß als individuelle Nutzungsformen. THIESENHUSEN (1991) gibt eine Fülle von Beispielen für verschiedene Formen des Landbesitzes und möglichen Wirkungen auf Bodennutzung und Degradation gibt. In IFAD (1995) findet sich eine Übersicht für Afrika.

2.2.1 Bevölkerungsdruck und induzierte Innovation

Bevölkerungswachstum und der sich daraus ergebende Bevölkerungsdruck werden häufig als die wichtigsten treibenden Kräfte der Agrarentwicklung eines Landes und des Drucks, der von den Landnutzern auf die Ressource Boden ausgeübt wird, angesehen. Insbesondere vor dem Hintergrund der hohen Bevölkerungszuwächse in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts in vielen Ländern Afrikas, Asiens und Lateinamerikas stellt sich die Frage, ob Bevölkerungswachstum vorwiegend negative oder auch positive Effekte auf die Agrarentwicklung und den Boden hat. Vier Positionen lassen sich diesbezüglich unterscheiden.

(1) Durch Bevölkerungswachstum induzierte Flächenextensivierung und Verkürzung der Brachezeiten haben vorwiegend negative Effekte auf die Ressource Boden.

Geht man für jede Region oder jedes Land von einer durch die natürlichen Bedingungen vorgegebenen, fixen agrarökologischen Tragfähigkeit aus, die die Ernährung einer begrenzten Anzahl von Menschen ermöglicht, so führt Bevölkerungswachstum über diese Grenze hinaus *ceteris paribus* zur räumlichen Expansion bzw. Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzfläche¹⁷ und langfristig zu einer Verringerung der Nahrungsgrundlage bis hin zu Hungersnöten. Diese Argumentation geht im Grundsatz auf die MALTHUS'sche Bevölkerungstheorie zurück, bei der die Ursache des Problems darin gesehen wird, daß die Bevölkerung geometrisch, die landwirtschaftlichen Erträge aber nur linear wachsen (MALTHUS, 1803)¹⁸.

Die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche steht immer auch mit der Abholzung von Natur- und anderen Wäldern und der Nutzung marginaler Standorte in Verbindung, und damit mit einer Verringerung der Bodenbedeckung. Es ist daher tendenziell von erosionsfördernden Wirkungen auf den Boden auszugehen. Die tatsächliche Wirkung hängt jedoch davon ab, ob das Land, auf das migriert wird, besonders erosionsgefährdet bzw. marginal ist oder nicht, und auf welche Weise es bewirtschaftet wird. PEARCE und WARFORD bemerken hierzu:

„Where suitable agricultural land is scarce and intensification is not feasible because agricultural inputs are prohibitively expensive, extensification is likely to occur on ecologically fragile lands.“ (PEARCE und WARFORD, 1993, S. 191).

Realistischerweise muß hier angemerkt werden, daß die Möglichkeiten einer weiteren Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche (oder: *land frontier*) in den meisten

¹⁷ Im folgenden wird der Terminus Extensivierung im Sinne von Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche benutzt.

¹⁸ Als einzige langfristig wirksame Reaktion zur Verbesserung der Situation der Bevölkerung sieht MALTHUS selbst die Geburtenregelung (MALTHUS, 1803).

Entwicklungsländern sehr begrenzt sind. Dementsprechend stehen zunehmend die intensivere Nutzung des vorhandenen Landes, z.B. durch verkürzte Brachezeiten, und deren Bodenwirkungen im Vordergrund (vgl. DE HAEN, 1998, S. 35)¹⁹.

Als weiterer Effekt des Bevölkerungswachstums wird deshalb in diesem negativen Szenario die Verkürzung der Brachezeiten bzw. die Erhöhung der Anbaufrequenz als Reaktion der Landnutzer auf zunehmenden Bevölkerungsdruck genannt. Durch die Verminderung der relativen Knappheit des Faktors Arbeit im Verhältnis zum Faktor Land wird die häufigere, arbeitsintensivere Nutzung des Bodens wirtschaftlich (vgl. TEMPLETON und SCHERR, S. 31). Dieser Effekt wird sowohl für die Erhöhung der Arbeitsintensität innerhalb eines ausschließlich auf Familienarbeitskräfte angewiesenen Betriebes als auch für den zusätzlichen Einsatz von Lohnarbeitskräften in größeren, kommerziell wirtschaftenden Betrieben angenommen. Von verkürzten Brachezeiten und erhöhten Anbaufrequenzen wird im allgemeinen angenommen, daß sie erosionsfördernd sind. Meist steht dabei der Übergang von Landnutzungssystemen wie dem Wanderfeldbau (*shifting cultivation*) hin zum Anbau einjähriger Kulturen mit relativ geringer Bodenbedeckung im Mittelpunkt der Betrachtung, oder die Verkürzung der Brachezeiten innerhalb von Wanderfeldbausystemen. Wenig beachtet wird hingegen, daß bei Betrachtung von Landnutzungssystemen mit einjährigen Kulturen die Wirkungen kürzerer Brachezeiten oder des Mehrfachanbaus auf den Boden abhängig sind von den Bedeckungseigenschaften der angebauten Kulturen im Verhältnis zu denen kurzfristig brachliegender Flächen.

Hinsichtlich gemeinschaftlich genutzter Ressourcen wird davon ausgegangen, daß Bevölkerungsdruck sich negativ auf das Management der Ressource und damit auf den Boden auswirkt. LIPTON argumentiert, daß zunehmender Bevölkerungsdruck innerhalb einer Nutzergemeinschaft bedeutet, daß mehr Menschen zur Einhaltung der Nutzungsregeln bewegt werden müssen und daß der Pro-Kopf-Nutzen der gemeinschaftlich genutzten Ressource sinkt. Zunehmender Bevölkerungsdruck auch außerhalb der Nutzergemeinschaft, aber in der geographischen Umgebung des gemeinschaftlich genutzten Landes, erhöht gleichzeitig die Gefahr der unzulässigen Mitnutzung und können dazu führen, daß die gemeinschaftlich genutzte Ressource sich in ein öffentliches Gut verwandelt und schneller degradiert wird (LIPTON, 1997a, S. 88 und OLSON, zitiert in LIPTON, ebda.; vgl. auch MINK, 1993, S. 10).

¹⁹ Die FAO schätzte 1988, daß im kommenden Jahrzehnt durchschnittlich nur noch weniger als 20 Prozent der Steigerung der Nahrungsmittelerzeugung durch Flächenextensivierung zustande kommen wird (FAO, 1988, zitiert in DE HAEN, 1998, S. 35), so daß Intensivierungsmaßnahmen und der Verkürzung der Brachezeiten die wesentliche Rolle zukommt.

(2) Bevölkerungswachstum und induzierte Innovationen haben langfristig²⁰ positive Effekte auf die Ressource Boden.

Ausgehend von der Malthus'schen Bevölkerungstheorie und gewissermaßen als Replik auf diese hat BOSERUP (1965, 1981, 1990) ein optimistisches Szenario entworfen, in dem technische und andere Innovationen in Kombination mit der Weiterentwicklung von Märkten als Reaktion der Gesellschaft auf Bevölkerungsdruck die Ernährung der wachsenden Bevölkerung immer wieder langfristig sichern und zudem dem Boden zuträglich sind (vgl. HEATH und BINSWANGER, 1996, S. 66)²¹. Die Entwicklung und Einführung von Innovationen mit dem Ziel der Erhöhung der Pro-Kopf-Nahrungsmittelproduktion gemäß den vorherrschenden relativen Faktorknappheiten und deren Veränderung entsprechen einer Erhöhung des o.g. Tragfähigkeitspotentials. Als Elemente dieses Intensivierungsprozesses werden sowohl die intensivere Nutzung des Bodens und die extensivere Nutzung des Faktors Arbeit (s.o.), als auch die Einführung produktionstechnischer Neuerungen wie z.B. der Übergang von der Handhacke zum Pflug, der Einsatz organischer und zugekaufter Düngemittel sowie eine Veränderung der Produktionsrichtung, z.B. die Einführung integrierter Pflanzen- und Tierproduktionssysteme, genannt. Auch Veränderungen in Richtung sichererer Landbesitzverhältnisse können Teil des Prozesses sein. Ausschlaggebend ist die Annahme, daß der Intensivierungsprozeß begleitet wird von Investitionen zur Verbesserung und zum Erhalt der Ressource Boden, oder aber von dem vermehrten Einsatz von Arbeit für Maßnahmen der Bodenverbesserung und des Bodenschutzes, was auch in der Einschätzung folgender Autoren deutlich wird:

„People change their production methods to overcome declines in the marginal product of labor, change property institutions to better protect land, and make landscape investments.“ (TEMPLETEON und SCHERR, 1997, S. 2).²²

„Typically, a farming society under demographic pressure expands its production to marginal areas without significantly modifying methods, except to shorten fallow periods; watches crop and livestock production per unit area fall; begins to adopt more intensive cropping methods, incorporating soil and water conservation;...“ (IFAD, 1992, S. 20).

²⁰ Wiederum sind hier grundsätzlich Zeiträume von mehr als fünf Jahren gemeint; meist erstrecken sich die dargestellten Entwicklungen über eine Zeitspanne von über 10 Jahren.

²¹ BINSWANGER und RUTTAN (1978) sowie HAYAMI und RUTTAN (1985) entwickelten die Theorie weiter, insbesondere indem sie verschiedene Arten der Intensivierung in Abhängigkeit von den jeweiligen Faktorpreisrelationen aufzeigten. Die Theorie hat einen starken Bezug zur *Farming Systems Research* (vgl. RUTHENBERG, 1980).

²² Die Autoren beziehen sich mit dieser Aussage explizit auf BOSERUP (1965); HYDEN et al., (1993), RUTTAN und HAYAMI, (1991). Vgl. auch vgl. PINGALI und BINSWANGER, zitiert in TEMPLETON und SCHERR, 1997, S. 31.

Ein häufig zitiertes Beispiel für das positive Szenario ist in der Arbeit von TIFFEN et al. (1994) dargestellt, die auf langjähriger Forschung über die Entwicklungen im *Machakos District* in Kenia, vor allem anhand der Analyse von Luftaufnahmen, beruht. In den 30er Jahren war der semi-aride Distrikt von starker Bodenerosion und sinkenden Erträgen gekennzeichnet. Zu dieser Zeit verfügten weiße Siedler *qua* Kolonialpolitik über das produktivste Land, während die native Bevölkerung auf einer sehr reduzierten Fläche und unter Verbot des Anbaus lukrativer *cash-crops* ihre Subsistenz erwirtschaften mußte. Heute ist die Bevölkerung des Distrikts insgesamt etwa sechsmal so groß wie damals, die Hektarerträge haben sich durch Intensivierungsmaßnahmen in etwa verzehnfacht, gleichzeitig wird wesentlich bodenschonender gewirtschaftet (ENGLISH et al., 1994, S. ix).

(3) Die Wirkungen bevölkerungsdruckinduzierter Innovationen auf den Boden sind abhängig von der Art der Innovation und von ökonomischen Rahmenbedingungen.

Kritiker des positiven Szenarios der Induzierten Innovation heben einerseits hervor, daß bevölkerungsdruckinduzierte Innovationen keineswegs bodenschonend sein müssen. Vor allem hängen die Wirkungen von der Art der eingeführten Innovationen ab²³. LIPTON bemerkt hierzu:

„Intensification can lead to eroded dust bowls - or to the use of fertilizer and compost to regenerate depleted soils. Extra labor can repair bunds and plow along contours - or harvest more and more high-yielding cassava until the soil is destroyed.“ (LIPTON, 1997a, S. 86).

Andererseits wird entgegengehalten, daß die skizzierte positive Entwicklung nicht automatisch durch Bevölkerungsdruck und dadurch veränderte relative Faktorknappheiten generiert wird. Vielmehr hänge die Art der Entwicklung und ihre Wirkung auf den Boden ab von betriebsinternen und -externen Bedingungen und Investitionsanreizen für bodenschonende **im Vergleich** zu nicht-bodenschonenden Innovationen. Insofern sind die Wirkungen entgegen den optimistischen Annahmen von BOSERUP weder beim landsparenden, noch beim arbeitsertragssteigernden Fortschritt vorhersehbar:

„We argue that the Boserup effects are far from automatic. We view them as the outcome of investment decision by farmers. In order to come about, the investments require a positive incentive regime, and access by farmers to soil and water resources and to markets. If these conditions are denied by adverse policy regimes, impoverished peasants are forced to mine the land resources, rather than augment them.“ (HEATH und BINSWANGER, 1996, S. 67).

²³ Hier ist auch die externe Entwicklung von Innovationen, die nicht an die ökonomischen und ökologischen Verhältnisse angepaßt sind, zu nennen. Dieser Aspekt wird im Abschnitt (3.2.4) besprochen.

Welches die maßgeblichen Einflußfaktoren dafür sein können, in welche Richtung – bodenschonend oder nicht - die bevölkerungsinduzierte Entwicklung geht, arbeiten die Autoren anhand eines Vergleichs der o.g. *Machakos*-Studie und einer ökonometrischen Studie für das Nachbarland Äthiopien heraus (GREPPERUD, 1996). In der Äthiopien-Studie wird zwar methodisch auf ganz andere Weise vorgegangen, wegen des geographischen Bezuges ist sie für eine Gegenüberstellung dennoch geeignet. GREPPERUD hat für das äthiopische Hochland anhand eines ordinalskalierten kumulativen Logit-Modells untersucht, ob ein quantitativer Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdruck und starker Bodenerosion nachzuweisen ist. Er kommt zu folgendem Ergebnis:

”...the probability of an area being classified above any given level of soil erosion increases rapidly as a rural population exceeds the population-supporting capacity of its region.” (GREPPERUD, 1996, S. 19).

Um zu erklären, warum die Wirkung von Bevölkerungsdruck hier offenkundig der Wirkung in *Machakos* entgegengesetzt war, vergleichen HEATH und BINSWANGER das politische und ökonomische Umfeld der Landnutzer in den beiden Ländern. Als ausschlaggebende Momente, die in *Machakos* zu einer veränderten *incentive*-Struktur geführt und in Äthiopien gefehlt haben, nennen sie

- eine vergleichsweise geringe Besteuerung des Agrarsektors,
- den Zugang zum internationalen Kaffeemarkt und zu den nationalen *cash crop* Märkten,
- den Bau von Infrastruktur,
- ausreichend hohe Einkommen - landwirtschaftliche sowie Nebeneinkommen - zur Finanzierung von produktiven Investitionen und Bodenschutzinvestitionen,
- relativ sichere Landbesitzverhältnisse,
- produktionstechnische Innovationen, vor allem für Mais, und schließlich
- die Entwicklung und Verbreitung angepaßter Bodenschutztechnologien.

Abgesehen davon, daß diese *incentives* in Äthiopien nicht bzw. in genau entgegengesetzter Form, als *disincentives* ausgeprägt waren, kommt nach Meinung der Autoren noch hinzu, daß dort Hungersnöte zu einem verstärkten Druck auf den Boden geführt haben, daß sich das Land in Staatsbesitz befand und die Nutzungsregelungen oft unklar und unsicher waren und daß weiterhin die Umsiedlung von Bauern und der exogene Zwang zur Kollektivierung die Art des Umgangs mit Boden geprägt haben (vgl. HEATH und BINSWANGER, 1996, S.67).

- (4) Von der durch Bevölkerungsdruck auf dem Land induzierten Migration in Städte gehen positive und negative Wirkungen auf den Boden aus.

Abschließend sei noch ein weiterer Effekt zunehmenden Bevölkerungsdrucks angesprochen, der nicht direkt mit der Agrarentwicklung in Zusammenhang steht: die Land-Stadt-Migration bzw. die Migration in andere Sektoren. MINK stellt mögliche positive und negative Effekte vor und kommt zu dem Schluß, daß Landflucht zwar einerseits den direkten Druck der landwirtschaftlichen Bevölkerung auf den Boden verringert, andererseits aber über eine wachsende städtische Nachfrage nach Agrarprodukten und Energie den Druck indirekt erhöht (MINK, 1993, S. 30). Insgesamt fällt auf, daß in der Diskussion um die Wirkungen des Bevölkerungsdrucks die nicht-landwirtschaftliche Bevölkerung wenig Beachtung findet. TEMPLETON und SCHERR weisen darüber hinaus darauf hin, daß Migration in der Landwirtschaft zu Arbeitskraftmangel führen kann, so daß die u.U. arbeitsintensive Instandhaltung bereits bestehender Bodenschutzeinrichtungen wie Terrassen nicht mehr gewährleistet ist. Außerdem kann Migration zum Verlust von Wissen und Erfahrung im Landbau führen (TEMPLETON und SCHERR, 1997, S. 3).

2.2.2 Armut und Wohlstandswachstum

Zwischen Bevölkerungsdruck und Armut bestehen vielfältige Zusammenhänge. In der Literatur werden die Zusammenhänge zwischen beiden Größen und die Art, wie beide auf Bodendegradation wirken, zum einen im mikroökonomischen Kontext diskutiert. Zum anderen wird auf gesamtwirtschaftlicher Ebene der Einfluß untersucht, den die langfristige Armutsminderung im Zuge von Wirtschafts- und Wohlstandswachstum auf die Bodendegradation hat. Im folgenden werden zunächst drei mikroökonomischen Hypothesen, dann drei Hypothesen der aggregierten Sicht beschrieben.

- (1) Arme Landnutzer verfolgen typische Einkommenserwirtschaftungs- und Investitions-Strategien, die sich eher erosionsfördernd auswirken.

Der Hintergrund dieser Aussage läßt sich sehr plastisch mit dem häufig benutzten Bild vom „Teufelskreis“ beschreiben, das in der angelsächsischen Literatur sogar oft als *downward spiral* bezeichnet wird. Ausgangspunkt ist der „arme“ Landnutzer: Weil er arm ist, so wird postuliert, hat er sehr kurze Zeithorizonte und eine sehr hohe Zeitpräferenz - er lebt sozusagen von der Hand in den Mund (vgl. MINK, 1993, S. 10); weil er arm ist, ist er unwissend bzgl. der Konsequenzen seiner Landnutzung für den Boden; und weil er arm ist, produziert er - auch in Ermangelung einer anderweitigen sicheren Altersversorgung - sehr viele Nachkommen²⁴ (PERMAN et al., 1996, S. 291; LIPTON, 1997a,

²⁴ „...to the extent, that subsistence and largely non-market peasant farming dominates an economy's agricultural sector, there will be powerful incentives for large family sizes. Additional children are valuable assets to the family...“ (PERMAN et al., 1996, S. 291).

S.80). So übt er selber, heute, starken Druck auf den Boden aus, und seine Nachkommen später noch mehr, weil sie entweder den begrenzten Boden noch intensiver nutzen oder auf marginale Standorte ausweichen, die definitionsgemäß noch schneller degradieren als nicht-marginale. Der Kreis schließt sich an dem Punkt bzw. zu dem Zeitpunkt, zu dem die Erträge erosionsbedingt zurückgehen und die Armut des Landnutzers und seiner Nachkommen sich deshalb verschlimmert (vgl. REARDON und VOSTI, 1997, S. 47).

Oft wird bei der Beschreibung dieser Zusammenhänge keine klar eingegrenzte Definition von Armut verwendet, sondern die genannten Konnotationen von Armut werden als gegeben angesehen: kurze Zeithorizonte, hohe Zeitpräferenz, geringer Bildungsstand, geringe Ausstattung mit meist marginalen Ressourcen. REARDON und VOSTI gehen den Besonderheiten des Investitionsverhaltens und der Einkommens-Erwirtschaftungs-Strategien armer Landnutzer sowie den sich ergebenden Bodenwirkungen weiter nach (1997, S. 55 ff.). Eine der von ihnen aufgeworfenen zentralen Fragen ist, ob die im Verhältnis zu Wohlhabenderen stärkere Abhängigkeit Armer von der Ressource Boden impliziert, daß diese, wie oben beschrieben, eher übernutzt wird - aus der Notwendigkeit heraus - oder daß sie eher geschont wird – ebenso aus der Notwendigkeit heraus. NAPIER betont in diesem Zusammenhang, daß ein Kennzeichen der Ernährungsstrategie Armer ist, daß sie Produktionsmaximierer sind bzw. in jedem Fall ein gewisses Mindestniveau an Produktion zur Befriedigung der Grundbedürfnisse der Haushaltsmitglieder gewährleisten müssen, sei es auf Kosten des Bodens oder auch des Gewinns bzw. der Rentabilität der Produktion (vgl. NAPIER, 1989, S. 15). PAGIOLA nimmt genau die entgegengesetzte Position ein, er schreibt:

„The poorer are people who rely on land for their sustenance and have no better alternative, the greater the incentive they have to protect the source of their sustenance.“
(PAGIOLA, 1994, zitiert in TEMPLETON und SCHERR, 1997, S. 2)

Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangt MÄLER, der anhand eines Haushalts-Konsum- und -Produktionsmodells ableitet, daß die Einkommenselastizität des Bodenschutzes entgegen der gängigen Meinung durchaus negativ sein kann, insbesondere wenn Boden als Produktionsfaktor z.B. durch zugekauften Dünger substituiert werden kann (1998, S. 259). Auch im Bereich gemeinschaftlich genutzten Landes wurde dokumentiert, daß Armut nicht unbedingt kurze Zeithorizonte impliziert, sondern u.U. genau das Gegenteil (vgl. MINK, 1993, S. 10 und S. 13).

Insgesamt ist nicht eindeutig, inwieweit Arme tatsächlich kürzere Zeithorizonte und höhere Zeitpräferenzen haben als wohlhabendere Landnutzer. Letztlich geht es bei dieser Diskussion darum, ob Arme den Boden eher als Produktionsmittel, als Input in die Produktion sehen, oder als nicht-erneuerbare, zur Produktion unbedingt notwendige Ressource, von der ein *minimum stock* in jedem Fall zu erhalten ist.

Bedauerlicherweise werden in den allerwenigsten Publikationen zu dem Thema Einstellung und Verhalten der Armen zum Boden im Vergleich mit denen Nicht-Armer betrachtet. Dementsprechend ist nicht auszuschließen, daß die hohen Zeitpräferenzen der Armen auf die allgemein unsichere Situation in dem jeweiligen Land zurückzuführen sind und daß diese Unsicherheit in ähnlicher Weise auch die Zeitpräferenzen und darüber die landnutzerischen Entscheidungen wohlhabenderer Landnutzer beeinflusst²⁵.

(2) Arme Landnutzer verfügen über zu wenig Kapital, um innovative und Bodenschutz-Investitionen zu tätigen.

Unabhängig von verschiedenen Armutsdefinitionen besteht ein genereller Konsens über die „verzerrte“ Ausstattung armer Landnutzer mit Produktionsfaktoren: Arme Betriebe verfügen in der Regel über verhältnismäßig mehr Arbeitskraft als Kapital und über marginales, erosionsgefährdetes Land. Das kann dazu führen, daß statt der Einführung kapitalintensiver, möglicherweise bodenschonender Innovationen traditionelle Produktionsmethoden beibehalten werden, die u.U. eher bodenzehrend sind, und daß kapitalintensive, direkte Investitionen in den Bodenschutz unterbleiben müssen – z.B. auch, weil der oft unsichere Besitz marginalen Landes keine ausreichende Sicherheit für die Aufnahme von Krediten zu diesem Zweck darstellt.

REARDON und VOSTI unterscheiden zwischen zwei Typen von Armut, die für die Bodendegradation von unterschiedlicher Bedeutung sind: *welfare poverty* und *conservation-investment poverty*. Das Konzept der *welfare poverty* orientiert sich an den gängigen, auf Konsum, Ernährung und Einkommen der Haushalte ausgerichteten Indikatoren und Schwellenwerten für Armut²⁶. Die Autoren halten es für nur teilweise relevant im Zusammenhang mit Bodendegradation. Mit dem Konzept der *conservation-investment poverty* versuchen sie darüber hinaus, die u.U. sehr große Anzahl der Haushalte mitzubetrachten,

²⁵ MINK z.B. bemerkt: „Short horizons are not exclusive to the poor. There are circumstances under which relatively better-off farmers demonstrate short time horizons. Farmers in the United States in the early 1980s labored under heavy debt burdens exacerbated by high interest rates and declining prices, and frequently responded by expanding cultivation to soils susceptible to erosion, and reducing fertilizer and soil amendment costs. The threat of policy changes can also induce accelerated harvesting of natural resources by commercial managers. The prospect of new restrictions on logging and log exports has contributed to the acceleration of commercial logging on private land in locations as diverse as the northwest of the United States and Malaysia. Thus, short time horizons are not restricted to the poor; but the specific circumstances that lead to them are quite different, and imply different policy solutions.“ (MINK, 1993, S. 13; vgl. auch: WINTERS, 1990, S. 256).

²⁶ Die Weltbank definiert Armut in ihrem Weltentwicklungsbericht 1990 als „die Unfähigkeit, einen Mindest-Lebensstandard zu erreichen“ (WORLD BANK, 1990, S. 31). Diese knappe, prägnante Definition basiert auf dem sogenannten Ressourcenansatz und orientiert sich an dem Konzept der absoluten Armut, das Armutsvergleiche zwischen verschiedenen Ländern und Regionen erleichtert (s. SAUTTER und SERRIES, 1993, S. 9 und 15). Der Ressourcenansatz geht von den einem Individuum oder Haushalt zur Verfügung stehenden (materiellen) Ressourcen aus, die eine potentielle Versorgungslage charakterisieren.

„...that are not „absolutely poor“, by the usual consumption-oriented definition but are too poor - in that their surplus above the minimum diet line is still too small - to make key conservation or intensification investments necessary to prevent their land use practices from damaging the resource base or leading them to push onto fragile lands.“
(REARDON und VOSTI, 1997, S. 51).

Das entspricht im wesentlichen dem erweiterten Armuts-Begriff, den z.B. auch PEARCE und WARFORD verwenden: Armut, auch im Sinne einer schlechten Gesundheit oder eines niedrigen Ausbildungsstandes, drückt sich in erster Linie darin aus, daß Landnutzer kaum in der Lage sind, auf äußeren Druck - sei er positiv oder negativ - innovativ zu reagieren und sich anzupassen²⁷. Ihnen bleiben nur zwei Möglichkeiten:

„...they can attempt to supplement scarce assets by using free common property or open access resources, or they can leave the land altogether and move to urban areas.“
(PEARCE et al., 1993, S. 272).

Für die Autoren führen beide Varianten unweigerlich zu verstärkter Umweltdegradation, sie sind aber, wegen ihrer Gebundenheit an exogenen Druck, der ja auch wegfallen kann, nicht zwingend. Dennoch ist bei dieser Art von Armutsbegriff nach Meinung der Autorin deswegen Vorsicht geboten, weil definitorisch ein kausaler Zusammenhang festgeschrieben wird, der bisher keineswegs eindeutig nachgewiesen ist: Arm ist definitionsgemäß der, der aufgrund äußeren Drucks den Boden verstärkt degradiert. Das heißt, wenn Bodendegradation vorliegt und gleichzeitig äußerer Druck, dann sind in jedem Fall **alle** Armen an dem Zustandekommen der Bodendegradation beteiligt²⁸.

BIOT et al. sehen in der relativ geringeren Ausstattung armer landwirtschaftlicher Betriebe mit Kapital als mit Arbeit hingegen keine Einschränkung bzgl. bodenschonender Entwicklungswege, sondern eher eine Herausforderung. Die Autoren setzen einen positiven Akzent zugunsten der Nutzung des für die Armen reichlichsten Produktionsfaktors bei der Entwicklung bodenschonender Innovationen:

„...the main entitlement of the poor, which will enable them to participate in the benefits of economic growth, lies in their labor; hence the key to environmentally friendly poverty alleviation lies in labor intensive growth, improving the productive capabilities of the poor...“ (BIOT et al., 1995, S. 19)

²⁷ Bei den erweiterten Definitionen von Armut wird meist das Konzept der *powerlessness* benutzt. Vgl. SAUTTER und SERRIES, 1993, S. 15ff.

²⁸ Diese Form von Armut ist jedoch noch standortabhängiger und schwerer quantitativ zu erfassen als herkömmliche Armutsmaßstäbe: *„...the cutoff point for conservation-investment poverty is site-specific, a function of local labor and non-labor inputs costs and of the types of investments that are needed for the particular environmental problems or risks faced.“* (REARDON und VOSTI, 1997, S. 52).

(3) Arme Landnutzer sind zu risikoavers, um innovative und Bodenschutz-Investitionen zu tätigen.

Als Besonderheit wird auch die große Bedeutung von Investitionsrisiken für arme Landnutzer hervorgehoben (vgl. MINK, 1993, S. 11 ff.). Dabei stehen Ertrags- und Preisrisiken sowie Unsicherheiten bzgl. der langfristigen politischen Bedingungen und der Landbesitzverhältnisse im Vordergrund. Die möglichen negativen Auswirkungen eines Risikos treffen Arme existentieller als Wohlhabendere, und Arme können auf diese weniger flexibel reagieren. Deswegen scheuen sie unsichere Investitionen in den Bodenschutz, insbesondere in einer allgemein unsicheren Situation.

Meist wird bei dieser Argumentation aber übersehen, daß Arme **jede** stark risikobehaftete Investition meiden, z.B. auch solche Investitionen, die eher erosiv wirken, z.B. in schwere Traktoren und Geräte, die den Boden über Kompaktierung erosionsanfälliger machen.

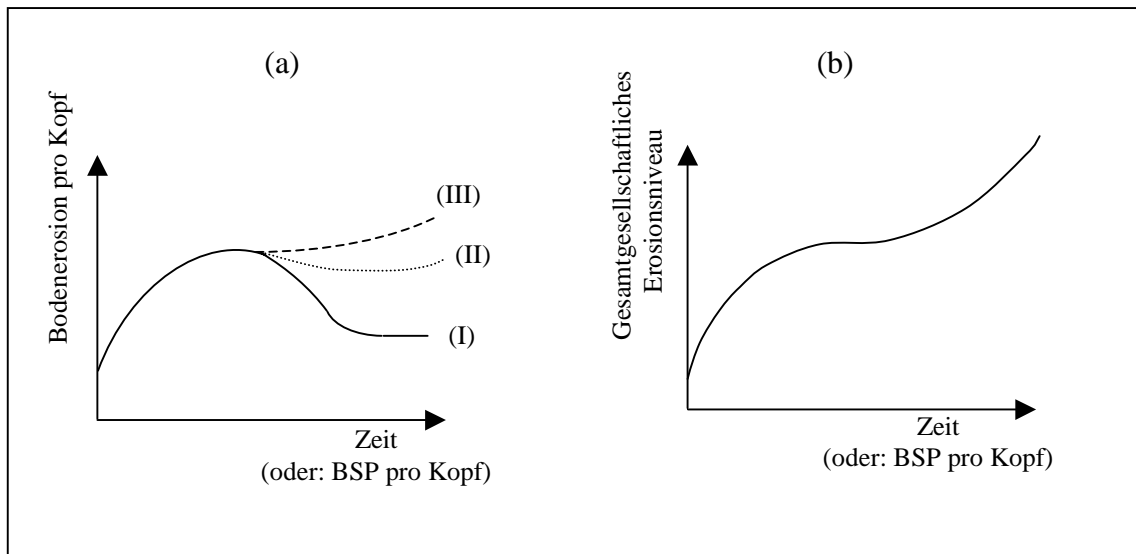
(4) Wirtschaftswachstum und die Verringerung von Armut führen langfristig zu sinkendem Bevölkerungswachstum und zu einer verringerten Bodenerosion.

Aufbauend auf BOSERUPs Thesen zur Einführung von Innovationen wird argumentiert, daß langfristig der durch Bevölkerungsdruck ausgelöste technische Fortschritt in der bäuerlichen Gesellschaft insgesamt zu Wohlstandswachstum führt. Dadurch wiederum sinken langfristig die Bevölkerungswachstumsraten und damit der Bevölkerungsdruck auf den Boden (BOSERUP, 1990, S. 24). Eine weitere Hypothese ist, daß die Gesellschaft mit steigendem Wohlstand dem Schutz der Umwelt an sich – unabhängig von ihrem ökonomischen Wert als Ressource – einen höheren Wert beimißt.

„It is frequently argued that the very process of getting out of poverty through economic growth degrades the environment in the short run, but that in the long run higher incomes enable individuals and nations to afford a better, albeit different, environment.“
(PEARCE und WARFORD, 1993, S. 263)

In folgender Abbildung 2-4 (a) (vgl. SCHERR und HAZELL, 1994, S. 9) ist der sich aus dieser Annahme ergebende Verlauf des Degradationsprozesses im Zeitablauf schematisch und zweidimensional dargestellt (Kurve I). Ebenso werden mögliche „Um- und Abwege“, die auf exogene Mängel, wie z.B. falsche Politiksignale zurückgeführt werden, aufgezeigt (Kurven II und III).

Abbildung 2-4: Mögliche Entwicklungen anthropogener Bodendegradation über die Zeit pro Person (a) und insgesamt (b)



Quelle: SCHERR und HAZELL, 1994, S. 8 (a) und COMMON, 1995, S. 103 (b)

Betrachtet man statt der Zeitachse ein gesamtgesellschaftliches quantitatives Wohlstandsmaß für die x-Achse, z.B. das BSP pro Kopf, wird deutlich, daß Verlauf und Prinzip denen der Umwelt-Kuznets-Kurven ähneln. Diese Kurven stellen - meist schematisch, aber z.T. auch empirisch fundiert - den langfristigen Zusammenhang zwischen Wirtschaftsentwicklung und verschiedenen Umweltbelastungen dar. Sie gehen von einer hyperbolischen Funktionsform aus (umgekehrte „U-Kurve“), der die Annahme zugrundeliegt, daß die durch zunehmende wirtschaftliche Aktivitäten bedingten Umwelteinflüsse zurückgehen, sobald das Pro-Kopf-Einkommen einen Schwellenwert überschritten hat - bzw., in letzter Konsequenz, daß es keine umweltmäßigen Grenzen des Wirtschaftswachstums gibt²⁹.

Der wesentliche Unterschied zwischen der in Abbildung 2-4 (a) dargestellten Verlauf und einer allgemeinen Kuznets-Kurve ist, daß die Kuznets-Kurven auf durchschnittlichen Pro-Kopf-Größen basieren - was häufig übersehen wird. Daß die entsprechende Kurve für das gesamte Degradationsniveau in einer Gesellschaft (oder der Welt) mit wachsendem Wohlstand ganz anders verläuft, zeigen z.B. COMMONS (1995, S. 103 f.; PERMAN et al., 1997, S. 303) und STERN et al. (1996, S. 1156 ff.; vgl. auch ARROW et al., 1995, S. 520 f.) - zumindest, wenn man von den realistischen Annahmen ausgeht, daß der Umwelteinfluß pro Person mit steigendem Einkommen langfristig ein konstantes Niveau erreicht, das **über** 0 liegt, und daß das Bevölkerungswachstum langfristig größer als Null

²⁹ Vgl. WORLD BANK, 1992, S. 39 ff.; PERMAN et al., 1996, S. 302 ff.; STERN et al., 1996, S. 1151 ff.; MÄLER, 1998, S. 264; ARROW et al., 1995, S. 520; KUZNETS, 1966.

ist (vgl. Abbildung 2-4 (b)). Im Fall der Bodenerosion bedeutet das, daß der derzeitige Degradationsstand langfristig nur dann abnehmen kann, wenn keiner der Landnutzer einer Gesellschaft den Boden über die natürliche Bodenneubildungsrate hinaus erodiert, was auch aus ökonomischen Gründen unwahrscheinlich ist.³⁰

Bzgl. der Wirkungen von technischem Fortschritt und Wachstum in der Landwirtschaft auf Bevölkerungswachstumsraten beschreibt LIPTON für die mikroökonomische Ebene einen ähnlichen wie den in Abbildung 3-4 skizzierten Kurvenverlauf (LIPTON, 1997a, S. 86 f.). Wahrscheinlich ist seiner Meinung nach, daß als kurz-bis mittelfristige Reaktion auf arbeitsertragssteigernden technischen Fortschritt und die damit verbundene relative Wertsteigerung der Arbeitskraft - auch von Kindern - das Bevölkerungswachstum zunächst zunimmt. Ebenso kann sich durch technischen Fortschritt erzielter Wohlstand primär in besserer Ernährung und Gesundheit der Mütter manifestieren und darüber zu mittelfristig steigenden Geburtenraten führen (vgl. EASTERLIN und CRIMMINS, zitiert in LIPTON, 1997a, S. 87; BOSERUP, 1990, S. 23). Die Frage ist, wann die langfristigen Effekte der Wohlstandssteigerung auf die Bevölkerungswachstumsraten greifen: weniger, besser ausgebildete Kinder, die die Eltern voraussichtlich mit einem sicheren Einkommen unterstützen können³¹.

(5) Wirtschaftswachstum muß an die spezifischen agrarökologischen Bedingungen angepaßt sein, um langfristig zu einer Verringerung der Bodenerosion zu führen.

Zunehmend rücken bei der Diskussion um die Wirkungen von (Agrar-) Wirtschaftswachstum auf Abholzung, Landnutzung und Bodenerosion differenziertere Standpunkte als der skizzierte Wachstumsoptimismus in den Vordergrund. Wegen der drängenden Ernährungsprobleme in vielen Entwicklungsländern steht derzeit nicht zur Debatte, ob und in welchem Tempo Agrarwirtschaften wachsen sollten, sondern vielmehr auf welche Art und Weise sie wachsen können, ohne die Produktionsgrundlage Boden zu zerstören (vgl. DE HAEN, 1997, S. 34; ARROW et al., 1995, S. 521), und wie diese Entwicklungswege eingeschlagen werden können (vgl. auch ENGLISH et al., 1994, S. 74³²).

³⁰ STERN et al. kritisieren die *Kuznets*-Annahmen und Methodik und zeigen anhand ökonometrischer Studien, daß der Wachstumsoptimismus, den die Kurven implizieren, gerade für Entwicklungsländer keineswegs berechtigt ist (STERN et al., 1996, S. 1151ff). Die Hauptkritikpunkte sind: (i) Die Funktion der Umwelt als Produktionsressource und (ii) der Effekt zunehmenden Handels auf die Umwelt bleiben unberücksichtigt; (iii) es wird angenommen, daß Einkommen weltweit normalverteilt ist; (iv) die Emissionsproblematik wird auf die allgemeine Umweltsituation oder ganz andere Umweltprobleme übertragen; (v) es bestehen große Daten- und Aggregationsprobleme. In einem appellähnlichen Artikel warnen ARROW und zehn weitere führende Umweltexperten vor den Gefahren einer blinden *Kuznets*-Kurven-Wachstumsgläubigkeit (1995, S. 520).

³¹ Vgl. BECKER und LEWIS (1974) und SCHULTZ (1981), zitiert in LIPTON, 1997, S. 80.

³² "Managing the land resource in conditions of climatic variability, population pressure and low incomes is a severe challenge for a society, but it's ability to do so requires attributes that are part and parcel of the whole process which we term development." (ENGLISH et al., 1994, S. 74).

Gleichzeitig wird zunehmend realisiert, wie ausschlaggebend bei der Suche nach nachhaltigen Entwicklungs- und Wachstumspfaden eine Differenzierung nach agrarökologischen Zonen ist:

„...agroecologies across the tropics are so diverse that the paths to sustainable intensification will be highly location-specific“ (DE HAEN, 1997, S. 35).

Wichtig ist, daß es sich bei dieser Art der Differenzierung zwar um eine „Ökologisierung“ (im Sinne von mehr Standorteingebundenheit) der ökonomischen Sichtweise handelt, aber nicht um eine Disaggregation in dem Sinne, daß Erosion nur noch als singulärer Prozeß auf Standort-Ebene („Parzellen-Denken“) gesehen wird.

Insgesamt betrachtet können dementsprechend weder allgemeine Aussagen zur Wirkung der spezifischen einkommenssteigernden und investiven Strategien armer Landnutzer noch zu den Wirkungen verminderter Armut bzw. von Wirtschaftswachstum auf Bodendegradation gemacht werden. Hingegen fällt auf, daß der Stellenwert der Armut bzw. armer Landnutzer als Verursacher der Bodenerosion in der Diskussion auffällig hoch, wenn nicht sogar definitorisch festgelegt ist (wie in der o.g. Definition von REARDON und VOSTI, 1997, S. 51). Es sind aber keine Untersuchungen bekannt, in denen der relative Beitrag quantifiziert wird, den Arme und Nicht-Arme bei gegebener Ressourcenverteilung in einer abgegrenzten Region (oder z.B. einem Land) jeweils zum Zustandekommen von Bodenerosion leisten. REARDON und VOSTI gehören zu den Ausnahmen, die anhand eines Beispiels aus der Tierproduktion auf die möglicherweise verzerrte Wahrnehmung der Bedeutung von Armut als Ursache von Bodendegradation hinweisen - bedauerlicherweise auch nur am Rande ihres Artikels und ohne ihre Aussage auf ein höheres Niveau zu aggregieren:

„Livestock indeed are important to the poor, but the poor household usually cannot afford to own many animals. For example, the poorest tercile of households owns far fewer animals per household than do richer households in West Africa (see Christensen 1989). Thus individual poor households put less pressure on semi-arid pasturelands than do individual rich households.“ (REARDON und VOSTI, 1997, S. 56).

Wenn man davon ausgeht, daß (a) Arme den Boden aufgrund des Armutsdrucks stärker degradieren als Reiche, und (b) davon, daß arme Individuen *qua definitionem* über weniger Ressourcen verfügen als Reiche, so kommt es bzgl. der Degradation in einer abgegrenzten Region darauf an, welcher Anteil der Ressourcen (Land, Tiere) insgesamt von Armen bewirtschaftet wird. Selbst wenn in der Region ein sehr hoher Anteil Armer wirtschaftet, ist dann nicht mit einem hohen degradierten Flächenanteil zu rechnen, wenn die Armen so arm sind, daß sie nur einen Bruchteil des gesamten Bodens bewirtschaften.

Dementsprechend besteht Anlaß zu der Vermutung, daß die räumliche Dimension von Armut und Degradation bisher zu wenig beachtet wurde, und daß die relative Bedeutung von Armut beim Zustandekommen von Bodendegradation tendenziell überschätzt wird. Es wird deshalb eine weitere Hypothese aufgestellt:

- (6) Für das Ausmaß von Bodenerosion durch Armut in einer abgegrenzten Region ist maßgeblich, welcher Anteil des Bodens von armen Landnutzern bewirtschaftet wird.

2.2.3 Agrarpolitik und Agrarpreise

Die wichtigste Verbindung zwischen politischen Rahmenbedingungen und Bodenerosion ist die bereits erwähnte *incentive*-Struktur: Sie ergibt sich aus der Gesamtheit der Rahmenbedingungen ökonomischer, institutioneller, produktionstechnischer sowie rechtlicher Art und dient dem Landnutzer als Grundlage für seine Produktions-, Investitions- und damit auch Erosions- bzw. Bodenschutzentscheidungen.

„A conservation investment on a given plot fits into the general income, investment and consumption strategy of the farm household. [...] Policy affects that overall strategy, and via that strategy, a specific investment. This crucial intermediate link [...] is relatively rare in the literature on policy impacts in developing countries.“ (REARDON und VOSTI, 1997a, S. 141)

Tabelle 2-1 gibt eine allgemeine Übersicht über verschiedene nationale Politikbereiche und Instrumente, die für Bodenerosion relevant sein können. (vgl. BARBIER, 1997, S. 122, SCHIFF und VALDÉS, 1992, S. 3). Unter den Sektorpolitiken steht in der Literatur zur Bodendegradation zweifellos die Agrarpolitik unter Einschluß der Bodenschutzpolitik im Mittelpunkt der Betrachtungen. Bei der Darstellung der wichtigsten Hypothesen zum Zusammenhang zwischen politikbestimmten Größen und Bodenerosion wird im folgenden fokussiert auf Agrarpreise und sektorale sowie makroökonomische Politiken, die diese Preise betreffen, sowie auf mögliche Wirkungen der politikinduzierten Steuerung technischen Fortschritts³³. Der Grund hierfür ist, daß die Bedeutung veränderter und verzerrter Agrarpreise in der Diskussion über Erosionsdeterminanten aus dem politischen Bereich beherrschend ist.

³³ Andere Autoren differenzieren nach direkter / indirekter Agrarpolitik. Letzere zielt auf andere Sektoren oder die gesamtwirtschaftliche Entwicklung ab, wirkt aber auch auf den Agrarsektor (HERRMANN, 1993, S. 862).

Tabelle 2-1: Übersicht über verschiedene erosionsrelevante Politikbereiche und Instrumente**Agrarpolitik**

Gestaltung des rechtlichen und institutionellen Rahmens	<ul style="list-style-type: none"> • Politiken zu Landbesitzverhältnissen • Marktentwicklungsprogramme • Politiken, die die Bedingungen auf ländlichen Kreditmärkten beeinflussen
Bereitstellung öffentlicher Güter	<ul style="list-style-type: none"> • Klassische Bodenschutzprogramme: Bereitstellung von Bodenschutztechnologie, Forschung und Beratung • Entwicklung, Import, Verbreitung technischen Fortschritts
Einflußnahme auf den Ablauf des Wirtschaftsprozesses	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumente, die auf das allgemeine Preisniveau, auf Einzelpreise und Preisrelationen Einfluß haben, z.B.: <ul style="list-style-type: none"> - Preisstabilisierung, Preisstützung - Produkt- und Faktorsubventionen • Direkte Einkommensübertragungen

Makroökonomische Politik

Internationale Politik	<ul style="list-style-type: none"> • Wechselkurspolitik und Kapitalverkehrskontrollen → relative Preise Import- versus Exportgüter • Außenhandelspolitik → relative Preise betroffener Güter
Geldpolitik	<ul style="list-style-type: none"> • Zinspolitik → private Diskontraten
Staatliche Ausgabenpolitik	<ul style="list-style-type: none"> • Staatliche Investitionen, z.B. in <ul style="list-style-type: none"> - Infrastruktur - Naturschutzinstitutionen

Quelle: zusammengestellt aus BARBIER, 1997, S. 122; HENRICHSMEYER und WITZKE, 1991, S.15

Konkreter Ausgangspunkt der Überlegungen zur Wirkung von Agrarpreisen auf Landnutzung und Bodenerosion ist vor allem die Tatsache, daß der Agrarsektor während der vergangenen drei Jahrzehnte in vielen Entwicklungsländern relativ zu anderen Sektoren und z.T. auch absolut hoch besteuert wurde (vgl. z.B. PEARCE und WARFORD, 1993, S. 189; FAO, 1992, S. 81 ff.³⁴). Der wesentliche Grund hierfür war, daß politische Prioritäten zugunsten der Industrie und der Versorgung der Bevölkerung mit günstigen Nahrungsmitteln gesetzt wurden. Die Besteuerung ergab sich sowohl aus makroökonomischer Industrialisierungs- und Importsubstitutionspolitik (*qua* Wechselkurs- und Außenhandelspolitik), als auch aus direkten Agrarpreispolitiken (vgl. SCHIFF und VALDÉS, 1993, S. 199; WIEBELT et al., 1992; GORN et al., 1993, S. 309f.). Teilweise wurde die

³⁴ Der FAO-Bericht „The State of Food and Agriculture - World and Regional Reviews - Agricultural Policies and Issues: Lessons from the 1980s and Prospects for the 1990s“ (1992) enthält eine umfassende Darstellung der Agrarpolitiken in Entwicklungsländern in den vergangenen Jahrzehnten. Vgl. auch GORN et al. (1993) und HERRMANN (1994).

Benachteiligung des Agrarsektors durch staatliche Subventionen für zugekaufte landwirtschaftliche Inputs kompensiert. Mit der Einführung von Struktur- und Sektoranpassungsprogrammen und den damit verbundenen Liberalisierungsmaßnahmen hat die relative Benachteiligung des Agrarsektors seit Ende der 80er Jahre in einigen Ländern zwar nachgelassen, die Frage nach dem Einfluß veränderter Preise auf Bodenerosion aber ist geblieben. Bei der Diskussion um die Wirkungen negativer Protektion auf Landnutzung und Bodenerosion stehen die kurz- bis mittelfristigen Vor- und Nachteile einer nationalen Preisliberalisierung für die nachhaltige Landnutzung und den Boden im Vordergrund. Meist wird dabei unterschieden in die Wirkungen eines veränderten aggregierten Preisniveaus und in die Wirkungen veränderter relativer Preise bzw. einer veränderten Preisstruktur (vgl. v. MAYDELL, 1993, S. 39).

Im folgenden werden die zentralen Hypothesen zur Wirkung veränderter Agrarpreise vorgestellt.

- (1) Ein kurzfristig steigendes Produktpreisniveau stimuliert die Erhöhung der Gesamtproduktion, entweder durch Intensivierung des Faktoreinsatzes oder durch Flächenextensivierung. Unterschiedliche Wirkungen auf den Boden sind möglich.

Es wird davon ausgegangen, daß eine Anhebung des aggregierten Produktpreisniveaus bzw. eine Senkung des Faktorpreisniveaus die Rentabilität der kommerziellen Agrarproduktion *ceteris paribus* steigert. PEARCE und WARFORD nehmen auf Grundlage einer Arbeit von CLEAVER (1985) an, daß marktorientierte Landnutzer die Gesamtproduktion bei gestiegenem Preisniveau ausdehnen, entweder über eine Intensivierung des Faktoreinsatzes, da dessen Wertgrenzproduktivität insgesamt zugenommen hat, oder über die Extensivierung bzw. die Inkulturnahme zusätzlicher Flächen (CLEAVER, zitiert in PEARCE und WARFORD, 1993, S. 190 f.).

Insofern gilt für die Bodenwirkung eines gestiegenen aggregierten Preisniveaus prinzipiell auch das, was bereits im Zusammenhang mit bevölkerungsinduzierter Intensivierung und Extensivierung der Flächennutzung ausgeführt wurde. Insbesondere bei der Extensivierung im Sinne der Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche, möglicherweise auch auf marginales Land, ist von einer zusätzlichen Gefährdung des Bodens durch Abholzung und verminderte Bodenbedeckung auszugehen (vgl. PEARCE und TURNER, 1990). Im Unterschied zur Diskussion bevölkerungsdruckinduzierter Intensivierung stehen aber hier nicht nur landsparende Intensivierungsmaßnahmen unter vermehrtem Einsatz des Faktors Arbeit im Vordergrund, sondern sämtliche Formen der Intensivierung. Des weiteren sind hier vorwiegend die kommerziellen Produzenten betroffen, die Zugang zum Markt haben.

Bzgl. der erhöhten Faktorintensitäten - PEARCE und WARFORD betrachten hier Düngemittel, Pestizide und Bewässerung – ist ausschlaggebend, welchen Einfluß diese auf die Bodenbedeckungseigenschaften der angebauten Pflanzen haben. Allerdings wirkt ein erhöhter Einsatz dieser Produktionsfaktoren auch über einen anderen Mechanismus: Degradationsprozesse werden teilweise nur mit zeitlicher Verzögerung wahrgenommen, weil erhöhte Düngungsintensitäten die negativen Auswirkungen der Degradation zunächst verdecken können. Bodenschutzmaßnahmen werden dann möglicherweise erst verspätet durchgeführt (vgl. DUMSDAY, 1971, zitiert in ANDERSON und THAMPAPILLAI, 1990, S. 13)³⁵. WAHBY berücksichtigt als Intensivierungsmaßnahme zusätzlich eine intensivere Bodenbearbeitung (vgl. WAHBY, 1996, S. 20), die Degradationsprozesse - je nach Art der Bodenbearbeitung - grundsätzlich beschleunigen kann. LUTZ und MUNASINGHE zufolge verhindert eine Erhöhung der Arbeitsintensität durch zusätzliche Einstellung von Arbeitern in kommerziellen Betrieben, daß diese Arbeiter erosionsgefährdete Flächen besetzen (*squatter*) und bewirtschaften. Ebenso wie im Kontext der bevölkerungsdruckinduzierten Intensivierung muß auch die intensivere Nutzung der Ressource Boden durch eine Verkürzung der Brachezeiten oder veränderte Fruchtfolgen berücksichtigt werden, die in der Tendenz erosionsfördernd ist (BOSERUP, 1990, S. 11).

Weiterhin weisen PEARCE und WARFORD (1993, S. 190) darauf hin, daß mittelfristig steigende Produktpreise zu einer relativen Benachteiligung der Subsistenzproduktion und zu deren Verdrängung auf marginale Standorte und damit zu erhöhter Bodendegradation führen kann (vgl. auch BARBIER, 1997, S. 128).

(2) Ein kurzfristig steigendes Produktpreisniveau ermöglicht über eine Erhöhung der Einkommen der Betriebe zusätzliche Investitionen. Unterschiedliche Wirkungen auf den Boden sind möglich.

Vielfach wird in der Literatur betont, daß in den durch ein gestiegenes Produktpreisniveau verbesserten Investitionsmöglichkeiten und der erhöhten Rentabilität von Investitionen der Schlüssel zu bodenschonenden Bewirtschaftungsmethoden liege (vgl. PEARCE und WARFORD, 1993, S. 190). Ebenso, lediglich umgekehrt ausgedrückt, argumentiert REPETTO, daß ein sinkendes Agrarpreisniveau dazu führt, daß

„...returns on investment in farmland development and conservation are depressed. Farmers are discouraged from leveling, terracing, draining, irrigating, or otherwise improving their land.“ (REPETTO, 1987, S. 45).

³⁵ Abgesehen davon wird in der Literatur auf vorwiegend externe Umweltschäden, die durch einen überhöhten Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden hervorgerufen werden, hingewiesen (vgl. z.B. CLEAVER und SCHREIBER, 1994, S. 157).

Grundsätzlich aber gilt das, was schon an anderer Stelle, im Zusammenhang mit den Investitionsstrategien armer Landnutzer, gesagt wurde: Investitionen können bodenschonend, aber genauso gut erosiv wirken. Die Liquidität des Betriebes und die Rentabilität der Investition sind sicherlich Voraussetzungen der Investition in Bodenschutzmaßnahmen, aber ebenso der Investition z.B. in schwere Maschinen.

Aus ressourcenökonomischer Sicht betrachtet, sind weder die unter (1) genannten preisinduzierten Intensivierungs- und Extensivierungsmaßnahmen, noch zusätzliche Investitionen (2) an sich entscheidend für Bodenschutz und Bodenerosion eines Betriebes. BARRETT vermutet aufgrund modelltheoretischer Betrachtungen³⁶, daß ein bedeutender direkter Einfluß veränderter Faktor- oder Produktpreise auf den Einsatz von Bodenschutzmaßnahmen und optimale Fruchtfolgen bzw. Brachezeiten insgesamt unwahrscheinlich ist. Sein Hauptargument ist, daß eine Produktpreissteigerung (oder Faktorpreissenkung) nicht nur die Rentabilität der Produktion, sondern ebenso - proportional - die des Bodenschutzes erhöht, so daß die Entscheidung für ein bestimmtes optimales Bodenschutz- und Erosionsniveau unverändert bleibt:

„With the output price higher, the benefit of slightly deviating from the equilibrium policy [gemeint ist hier die „private“ Politik bzw. Entscheidung des Landnutzers. Anm. d. Verf.] by increasing erosion increases by the percentage rise in price. The benefit of adopting additional soil conservation measures - the present value sum of future profits made possible by the additions to soil depth [...] - also increases by the percentage rise in price. Since the percentage change is identical in both instances, the farmer has no incentive to conserve additional soil - or less.“ (BARRETT, 1991, S. 172).

Als weiterer Aspekt ist in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen, daß landwirtschaftliche Haushalte meist auch als Konsumenten der auf dem Markt angebotenen Produkte auftreten. Insofern kann ein relativ niedriges bzw. sinkendes Preisniveau der zugekauften Nahrungsmittel die Versorgungslage verbessern und das verfügbare Haushalt-Betriebs-Einkommen erhöhen (SCHIFF und VALDÉS, 1992 S. 150 f.) und damit auch die Möglichkeiten, mehr Ressourcen i.w.S. auf den Bodenschutz zu verwenden. Gerade in armen Haushalten könnte eine Nahrungsmittelpreissenkung eine relativ bedeutsame Ersparnis bzw. Erhöhung des verfügbaren Einkommens darstellen (vgl. auch BARBIER, 1997, S. 128).

³⁶ Seine Modelle der optimalen Steuerung basieren auf dem Modell von McCONNELL (1983). In ähnlicher Weise argumentieren auch TEMPLETON und SCHERR (1997, *abstract*).

- (3) Ein kurzfristig gestiegenes Produktpreisniveau kann zu erhöhten Zeitpräferenzen und verstärkter Bodenerosion führen.

Über die geschilderten Effekte hinaus hebt LIPTON im Zusammenhang mit der Wirkung eines kurzfristig gestiegenen Produktpreisniveaus die Bedeutung der Zeitpräferenzen der Landnutzer hervor. Er argumentiert, daß

„...better farm prices now, if they work as intended, will encourage 'soil mining' for quick, big crops now...“ (LIPTON, 1987, S. 209)

Daraus schließt er, daß Politikmaßnahmen zur Anhebung landwirtschaftlicher Produktpreise von staatlichen Maßnahmen zum Schutz des Bodens begleitet werden müssen, um externe Effekte durch Erosionsschäden zu vermeiden. Der auf den ersten Blick bestehende Widerspruch zwischen diesem Argument und der Position von REPETTO, die in o.g. Zitat zur Bedeutung hoher Produktpreise für Investitionen in den Bodenschutz zum Ausdruck kommt, erklärt sich allein durch unterschiedliche angenommene Zeitpräferenzraten der beiden Autoren (vgl. BARRETT, 1991, S.184).

- (4) Veränderungen der Produktpreis-Relationen zugunsten erosiver Kulturen können zu verstärkter Bodenerosion führen.

Unabhängig vom aggregierten Agrarpreisniveau werden in der Literatur mögliche Erosionswirkungen einer veränderten Produktpreisstruktur bzw. veränderter relativer Preise einzelner Produkte analysiert. Mittlerweile gibt es recht breite empirische Evidenz dafür, daß eine Veränderung der relativen Preise zu einer Veränderung der Anbaustruktur führen kann (vgl. z.B. BOND, 1983, S. 710 f.; FONES-SUNDELL, 1987, S. 18 ff.; TEMPLETON und SCHERR, 1997, S. 48). Ausschlaggebend für die Wirkung auf den Boden ist dementsprechend grundsätzlich zum einen die relative, standortspezifische „Erosivität“³⁷ der von der Veränderung betroffenen Kulturen und u.U. auch Tierarten, zum anderen die Erosivität der mit den Kulturen in einem bestimmten Produktionssystem verbundenen Produktionsverfahren (Bodenbearbeitung, Anbaumethoden, Fruchtfolgen etc.). CLEAVER und SCHREIBER favorisieren deshalb temporär begrenzte und aufeinander abgestimmte Subventionen für bodenschonende Investitionen, Produkte, Produktionsfaktoren und Produktionsverfahren bzw. *disincentives* wie eine Besteuerung erosiver Produkte (1994, S. 157). WAHBY zeigt allerdings über den grundsätzlichen Zusammenhang zwischen relativen Preisen, Anbaustruktur und Bodenerosion hinaus auf, daß für die Wirkung veränderter Produktpreis-Relationen auf Bodenerosion vielmehr die vorherrschenden sozioökonomischen Rahmenbedingungen ausschlaggebend sein können. Anhand verschiedener LP-gestützter Simulationsrechnungen für Betriebe in der Kaffeezo-

³⁷ Der Begriff Erosivität ist in der Bodenkunde definitorisch besetzt durch die Niederschlagserosivität. Hier sind eher umgangssprachlich die Bedeckungseigenschaften verschiedener Kulturen und die Erosionsgefährdung unterschiedlicher Formen der Tierhaltung gemeint.

ne Kenias zeigt er, daß beispielsweise Produktionsbeschränkungen durch Subsistenzanforderungen sowie begrenzte Möglichkeiten des Einsatzes zugekaufter Produktionsmittel die Reaktionsmöglichkeiten der Landnutzer auf veränderte Preisrelationen erheblich bestimmen und den Ausschlag dafür geben, ob Preisveränderungen über ihren Einfluß auf die Wahl der Anbaukulturen zu veränderten Erosionsraten führen oder nicht (WAHBY, 1996, S. 161 ff.).

Hinsichtlich der Bedeckungseigenschaften wird häufig grob unterschieden in einjährige Kulturen und Dauerkulturen, in Subsistenzfrüchte und gehandelte *cash crops* sowie in national konsumierte Grundnahrungsmittel und Exportkulturen. Vorsicht ist dabei insofern geboten, als der Grad der Bodenbedeckung bei Dauerkulturen zwar tendenziell höher als bei einjährigen Kulturen ist und diese Dauerkulturen häufig den national gehandelten und exportierten Kulturen entsprechen, aber das muß nicht so sein - Baumwolle oder Zuckerrohr z.B. zählen zu den eher bodengefährdenden, international gehandelten Dauerkulturen. TEMPLETON und SCHERR gehen davon aus, daß eine relative Preissteigerung bei bodenschonenden Dauerkulturen in Kombination mit verbessertem Marktzugang für die entsprechenden Produkte insbesondere in Regionen ohne weitere Flächenextensivierungsmöglichkeiten zu einer veränderten Anbaustruktur und besserer Bodenbedeckung führen kann (1997, S. 48). V. MAYDELL zeigt in einem Vergleich USLE-gestützter Berechnungen von Erosionsraten für Szenarien mit verschiedenen Anbaustrukturen in Kenia, daß eine verstärkte Förderung der Nahrungsmittelproduktion im Verhältnis zur Förderung der Produktion von Exportkulturen zu deutlich erhöhten Erosionsraten führen kann (vgl. v. MAYDELL, 1994, S. 149; s auch KIRSCHKE und v. Maydell, 1992, 234ff.).

In diesem Zusammenhang ist noch einmal die Wirkung der eingangs genannten sektoralen und makroökonomischen Politiken, insbesondere der Wechselkurs- und Außenhandelspolitik, auf die relativen Preise exportierter und nicht-exportierter Kulturen hervorzuheben. Auch Kapitalverkehrskontrollen, die auf die Stützung einer überbewerteten Währung abzielen, können indirekt wirksam sein. COXHEAD und JAYASURIYA zeigen anhand eines allgemeinen Gleichgewichtsmodells, das die Wirtschaft eines Entwicklungslandes vereinfacht darstellt, daß eine Erhöhung direkter Exportsubventionen für Baumkulturen ebenso wie der direkten Besteuerung einjähriger Kulturen zu einer Ausdehnung der Baumkulturfläche im Verhältnis zur Fläche mit einjährigen Kulturen führen kann und darüber auch zu verminderten Erosionsraten (COXHEAD und JAYASURIYA, 1995, S. 641)³⁸. Ebenso zeigt Demgegenüber werden mögliche bodenschädigende Wirkungen verzerrter Preise teilweise als generelles Argument gegen Preispolitiken jeglicher Art und für eine umfassende Liberalisierung ins Feld geführt (vgl. WORLD BANK,

³⁸ Weitere Beispiele für partielle und allgemeine Gleichgewichtsmodelle sind: WADE und HEADY (1977); HOEHN (1994).

1992, S. 65 und 68). Darauf, daß bei dieser Argumentation, die oft auch instrumentalisiert wird, die unterschiedlichen Erosionswirkungen der Anbaukulturen nur unzureichend Berücksichtigung finden, haben schon LIPTON und REPETTO hingewiesen (vgl. LIPTON, 1987, S. 209; REPETTO, 1987, S. 44 ff.).

(5) Langfristig sinkende internationale Agrarpreise und ein steigendes Zinsniveau generieren hohe Zeitpräferenzen und erosive Produktionsmethoden.

Nationale Agrarpolitiken im allgemeinen und Preispolitiken im speziellen werden im Kontext der auf dem Weltmarkt herrschenden Rahmenbedingungen formuliert. Innerhalb der vergangenen 40 Jahre sind die Weltmarktpreise für die bedeutendsten Agrarprodukte - von kurzfristigen Schwankungen abgesehen - kontinuierlich real gesunken (WORLD BANK, 1989, zitiert in LIPTON, 1997, S. 150; vgl. auch: CGIAR, 1996, S. 79). LIPTON sieht darin, viel mehr als in nationalen Preispolitiken selbst, eine der wesentlichen Ursachen für Bodendegradation in diesem Zeitraum. Infolge dieser langfristigen Tendenz, die sich auch in den nationalen Produktpreisen widerspiegelt, pendeln sich seiner Meinung nach die Zeitpräferenzen der Landnutzer zwangsläufig auf einem sehr hohen Niveau ein:

„Farmers anticipating continued price declines will shift toward adding value by farm production now at the cost of production later. Accelerated resource degradation results.“ (LIPTON, 1997, S. 150).

Diese Annahme wird auch durch folgende Bemerkung von WINTERS gestützt:

Exploitation [i.S.v. soil mining oder degradation. Anm.d.Verf.] responds to the fear that output prices will fall in the future, for then a current unit of soil-exhaustion (which increases output) is worth more than a future one. [...] Farmers will, as it were, 'make hay while the sun shines.'“ ,

und weiter:

“...it is anticipated price falls that most encourage over-exploitation.“ (WINTERS, 1990, S. 256).

Interessant ist bei dieser Argumentation, daß hohe Zeitpräferenzen aus dem Kontext von Armut in Entwicklungsländern herausgelöst werden, denn von der Erwartungswirkung langfristig sinkender Preise sind grundsätzlich alle kommerziellen Landnutzer betroffen. WINTERS bezieht sich in der OECD-Studie, aus der das o.g. Zitat stammt, sogar ausschließlich auf das Verhalten von Landwirten in Industrieländern.

Als wesentliche Determinanten der skizzierten Weltmarktpreisentwicklung nennt LIPTON die Agrarpolitiken der Europäischen Union, der Vereinigten Staaten und Ja-

pans³⁹, die insgesamt Überproduktion stimuliert sowie große Lagerbestände subventioniert haben, wodurch weiterer Preisdruck zustandekam (vgl. auch CGIAR, 1996, S. 79). Darüber hinaus sieht er in der Agrarpreisfixierung der EU eine weitere Ursache für die Destabilisierung der Weltmarktpreise (vgl. KOESTER, 1982; KIRSCHKE, 1987, S. 109 ff. und 122), die wiederum zu „spekulativem“ Degradationsverhalten der Landnutzer in Entwicklungsländern geführt haben könnte:

„This further encourages farmers in developing countries, whenever prices are temporarily high, to increase output even at the cost of mining natural resources“ (LIPTON, 1997, S. 150).

Als zweite zentrale Weltmarktentwicklung, die in den vergangenen Jahrzehnten ausschlaggebend für das Verhalten von Politikern und Landnutzern *in puncto* Bodenschutz war, nennt LIPTON die Entwicklung des allgemeinen Marktzinsniveaus von 1945 bis 1974 und von 1979 bis 1993⁴⁰. In dieser Zeit hat sich das Realzinsniveau in etwa vervierfacht. Wesentlich beigetragen haben zu dieser Erhöhung die antiinflationäre, restriktive Geldmengenpolitik der Industriestaaten nach dem zweiten Ölpreisschock von 1978 sowie die hohe Staatsverschuldung der USA, die von Beginn der 80er Jahre an das Marktzinsniveau ebenfalls nach oben drückte. Die Zinssätze, zu denen die führenden staatlichen Geberinstitutionen Kredite an Regierungen von Entwicklungsländern vergeben, haben sich rasch an die gestiegenen Marktzinssätze angepaßt. LIPTON geht davon aus, daß das gestiegene Zinsniveau auch an die Endkreditnehmer weitergegeben wurde, vor allem auch wegen des Drucks der großen Geberländer und -institutionen auf die Nehmerländer, ihre Zinssubventionen auszusetzen (LIPTON, 1997, S. 147).

Wie stark u.U. schon geringe Erhöhungen der Zeitpräferenz bzw. der Diskontrate oder des Zinsniveaus die Entscheidungen der Landnutzer zugunsten bodenzehrender Produktion verschieben, konnte schon WALKER zeigen⁴¹ (1982, zitiert in ANDERSON und THAMPAPILLAI, 1990, S. 12). LIPTON betont, daß sich die Kreditkosten nicht nur auf die Investitionstätigkeit - sei sie bodenschonend oder nicht - auswirken, sondern auf die gesamte Zusammensetzung von Produktionsfaktoren, Produkten, Anbautechnik, Konsum und Ersparnis (LIPTON, 1997, S. 148).

³⁹ In den USA vor allem für die Produkte Zucker, Tabak und Baumwolle, in Japan für Reis.

⁴⁰ In den Jahren 1973 bis 1977, die von der ersten Ölkrise und hohen Inflationsraten geprägt waren, kam es zu real negativen Zinssätzen.

⁴¹ WALKER berechnete den Zeitraum, in dem bei angenommenen erosionsbedingten Ertragsverlusten und einer bestimmten privaten Diskontrate die diskontierten Gewinne erosiver Produktion über denen bodenschonender Produktion liegen. Bei einer Diskontrate von 2 Prozent umfaßt dieser Zeitraum etwa 60 Jahre, bei einer Diskontrate von 8 Prozent steigt er auf rd. 200 Jahre an (WALKER, 1982, zitiert in ANDERSON und THAMPAPILLAI, 1990, S. 12).

2.2.4 Exogener technischer Fortschritt

In Abgrenzung zu Innovationen, die durch lokales Bevölkerungswachstum und lokal veränderte relative Faktorknappheiten induziert werden, ist für exogene Innovationen charakteristisch, daß sie in einem und für einen anderen ökologischen und ökonomischen Kontext entwickelt wurden als der, in dem sie eingeführt werden. Da es sich bei derartigen Innovationen meist um technische Innovationen handelt, wird häufig von exogenem technischen Fortschritt gesprochen.

(1) Die Einführung von exogenem technischen Fortschritt, der an die ökonomischen und ökologischen Bedingungen nicht angepaßt ist, verstärkt Erosion.

Einige Autoren nehmen an, daß die Art des eingeführten technischen Fortschritts die wichtigste Determinante der Bodenerosion ist:

„In the long run, at least in the more vibrant regions of developing country farming, technology probably affects farm-level incentives more than prices do.[...]Farmers' selection from an available set of generated production technologies determines whether their response to the joint pressures of population and changing prices will be resource enhancing or resource degrading.“ (LIPTON, 1997, S. 151).

Wenn in den wenigsten Fällen die zitierte *resource enhancing* Variante gewählt werden konnte und kann, so wird das darauf zurückgeführt, daß Forschung und Entwicklung landwirtschaftlichen technischen Fortschritts für Entwicklungsländer bzw. Produzenten in Entwicklungsländern als *technology taker* weitgehend exogen stattfinden. NAPIER bemerkt hierzu:

„Farm operators become instruments of the 'technology treadmill' (Cochrane, 1979) and have few degrees of freedom in the decision making process relative to the type of farming techniques they will use.“ (NAPIER, 1989, S. 21).

Den tatsächlich stattgefundenen Technologietransfer beschreiben ANDERSON und THAMPAPILLAI:

„Most of the technology transferred to the developing countries was originally developed for different environments and agricultural regimes, and the adoption and careless use of such technology frequently promotes land degradation.“ (MILTON und FARVAR, 1968; JANZEN, 1973, zitiert in ANDERSON und THAMPAPILLAI, 1990, S. 15).

Insbesondere die Tatsache, daß die Kleinbauern in Entwicklungsländern unter zunehmenden Druck der *person-land-ratio* geraten, die Forschung sich aber tendenziell auf arbeitssparenden Fortschritt in großen Betrieben konzentriert, wird als Ursache für Fehlentwicklungen genannt.

Des weiteren sieht LIPTON im exogenen technischen Fortschritt die Gefahr der Fokussierung auf Formen der privaten Landbewirtschaftung. Seiner Meinung nach hat die fast ausschließliche Entwicklung von technischem Fortschritt für den Privatsektor bewirkt, daß gemeinschaftlich genutzte Ressourcen zunehmend privatisiert wurden oder unter verstärkten Konkurrenzdruck mit privaten Landnutzern geraten sind, wodurch traditionelle, bodenschonende Nutzungsregelungen außer Kraft gesetzt wurden (LIPTON, 1997, S. 152).

Insgesamt wird durch die Exogenität und Unangepaßtheit des technischen Fortschritts gerade für Kleinbauern in Entwicklungsländern der Optimismus, der der Theorie der Induzierten Innovation auch *in puncto* Bodenschutz zugrundeliegt, getrübt. Eine Veränderung im Sinne des Bodenschutzes kann nur durch veränderte Forschungsprioritäten und eine insgesamt stärkere Berücksichtigung regionaler und nationaler Bedingungen - des Nahrungsmittelbedarfs, der relativen Ressourcenknappheiten und relativen Preise - erfolgen.

2.3 Empirische Evidenz und Defizite

Die im folgenden wiedergegebenen empirische Studien beziehen sich vorwiegend auf die Zusammenhänge zwischen Bevölkerungsdruck, Abholzung und Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche sowie Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion. Die verwendeten Erhebungs- und Untersuchungsmethoden reichen von der Auswertung deskriptiver Experteneinschätzung oder von Luftaufnahmen bis hin zur Anwendung statistischer, ökonometrischer Methoden auf Daten von Fallstudien oder auf Länderdaten. Demgegenüber gibt es für Erosionsdeterminanten preispolitischer Art wenig empirische Evidenz. Der Einfluß veränderter Preisverhältnisse wird meist von modelltheoretischen Überlegungen und Simulationen abgeleitet und nur teilweise empirisch geprüft.

Auf den Seiten 42, 44, 45 und 48 finden sich Auflistungen relevanter Studien⁴². Zuerst werden Studien zum Zusammenhang der Größen Bevölkerungsdruck, Faktorknappheiten und Landnutzungsintensität vorgestellt (Tabellen 2-2 bis 2-5), dann zur Bedeutung von Preisen und makroökonomischen Größen für Abholzung (Tabelle 2-6). Der überwiegende Teil der Studien bezieht sich nicht auf Bodenerosion als abhängige Variable, sondern auf Abholzung - auf diesem Gebiet sind mehr empirische Studien durchgeführt worden als für Bodenerosion. Sie werden hier mit vorgestellt, weil Bodenerosion und Abholzung grundsätzlich in Zusammenhang miteinander zu sehen sind.

⁴² Hier wird zurückgegriffen auf eine sehr aktuelle, umfassende Übersicht über empirische Studien zum Thema mit Schwerpunkt auf bergigen Regionen von TEMPLETON und SCHERR (1997) sowie auf eine Zusammenstellung der wichtigsten Abholzungs-Studien von BROWN und PEARCE (1994).

Aus den Ergebnissen der in Tabelle 2-2 aufgelisteten Studien läßt sich ableiten, daß ein starker und/oder zunehmender Bevölkerungsdruck - zumindest isoliert betrachtet - tendenziell mit geringerem Naturwaldbestand und mit Entwaldung in Zusammenhang steht (TEMPLETON und SCHERR, 1997, S. 8). Für einzelne Regionen kann gezeigt werden, daß der Zusammenhang relativ bedeutsam ist. Die einzige multivariate, überregionale Analyse basiert auf Länderdaten der *Food and Agricultural Organization* (FAO) (DEACON, 1994). Sie bezieht sich auf einen recht kurzen Zeitraum. Der Einfluß des Bevölkerungsdrucks ist hier nur bei relativ hoher Irrtumswahrscheinlichkeit ($p = 0,1$) signifikant. TEMPLETON und SCHERR weisen trotz der generell anzunehmenden Gültigkeit dieser Zusammenhänge darauf hin, daß die zeitliche Staffelung von Bevölkerungszunahme und Entwaldung nicht eindeutig geklärt ist. Sie heben die Rolle großer kommerzieller Produzenten - z.B. Plantagenbesitzer, Rancher oder kommerzielle Waldnutzer - bei der Umwandlung von Primärwald in degradierten Sekundärwald hervor. In vielen Fällen werden die Flächen erst nach der Rodung bzw. Umwandlung des Primärwaldes durch diese großen Produzenten von Kleinbauern, die unter Bevölkerungsdruck bzw. Landknappheit leiden, landwirtschaftlich genutzt. Direkte Zusammenhänge zwischen Bevölkerungsdruck und der Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche werden nur in wenigen, eher deskriptiven Studien untersucht. Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß Bevölkerungswachstum, Nachfragewachstum und Wachstum der landwirtschaftlichen Nutzfläche langfristig miteinander einhergehen. Auf der anderen Seite kann auf Grundlage von eher deskriptiven Analysen vermutet werden, daß eine steigende Bevölkerungsdichte teilweise auch mit einer Zunahme der Dichte neugepflanzter Bäume und mit der Entwicklung von umweltverträglichen *agro-forestry*-Systemen einhergeht.

Tabelle 2-2: Empirische Studien zum Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdruck, Ausdehnung der Landwirtschaftliche Nutzfläche, Abnahme des Waldbestandes und Zunahme des Pflanzbaumbestandes

Quelle	Länder / Region	Methode	Ergebnis
Deacon (1994)	98 <i>low- und middle-income- countries</i>	Multivariate statistische Analyse von FAO- und anderen Länderdaten	1% ige jährliche Bevölkerungswachstumsrate 1975-80 hat zu 0.12% Abholzungsrate 1980-85 geführt; schwache Signifikanz des Effektes
Mather (1987)	99 Industrie- und Entwicklungsländer	Univariate Korrelationsanalyse von FAO-Länderdaten	Bevölkerungswachstumsraten sind negativ mit prozentualer Veränderung der Waldflächen 1975-1981 korreliert
Southgate (1990)	23 lateinamerikanische Länder	Multivariate statistische Analyse von FAO Daten	Hohes Bevölkerungswachstum, Zunahme der Exporte und geringes Ertragswachstum bedingen starke Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche
Bilsborrow und Geroes (1994)	85 Entwicklungsländer	Univariate Korrelationsanalysen von FAO-Daten	Zusammenhänge Bevölkerungswachstum / Abholzung bzw. Ausdehnung der Nutzfläche kaum nachweisbar
Palo und Mery (1986)	60 lateinamerikanische, asiatische und humide afrikanische Länder	Univariate Korrelationsanalyse von Länderdaten	Korrelation zwischen verstärktem Bevölkerungswachstum und geringerer Waldfläche
Mendez (1988)	Guatemaltekkische <i>municipios</i> (Distrikte)	Univariate Korrelationsanalyse von <i>census</i> -Daten von 1950 und 1981, 40 <i>municipio</i> -Feldstudien	Höhere Bevölkerungsdichten mit geringerem Waldanteil korreliert
Lele und Stone (1989)	Malawi, Nigeria, Senegal, Kenia, Kamerun, Tanzania	Kontingenzanalyse von Regierungs- und FAO- Daten	Hohe Ackerbaufläche pro Kopf steht in schwachem Zusammenhang mit geringen abgeholzten Waldflächenanteilen
Kumar und Hotchkiss (1988), Blaikie und Brookfield (1987)	Östliche und zentrale Gebirgsregionen in Nepal	Deskriptive Analyse mit Regierungsdaten und FAO-Schätzungen	Rückgang der Waldfläche bei gleichzeitigem Bevölkerungswachstum
Harrison (1992)	2 Dörfer in Madagaskar	Deskriptive Analyse von Fallstudien	Entwaldung der Hügel, nachdem Bevölkerung in Ebenen zugenommen hatte
Scherr (1993)	Lake Victoria, Kenia	Evaluierung von Luftfotografien, <i>farm surveys</i> , Archivdaten und Feldstudien	Verstärktes Bevölkerungswachstum geht mit höheren Pflanzbaumdichten einher
Tiffen, Mortimore, Gichuki (1994)	Machakos, Kenia	Evaluierung von Fotografien 1937-1991, <i>farm survey</i> - und Daten aus Feldstudiendstudien	Höhere Bevölkerungsdichte bei gleichzeitig höheren Pflanzbaumdichten größerer Bäume in den Betrieben

Quelle: TEMPLETON und SCHERR (1997)

Bezüglich der Art der Landnutzung (Tabellen 2-3 und 2-4) legen die Ergebnisse zahlreicher Studien nahe, daß zunehmender Bevölkerungsdruck mit der Intensivierung der Anbaumethoden zusammenhängt. Insbesondere die Wirkung des Bevölkerungsdrucks auf eine Verkürzung der Brachezeiten und eine erhöhte Anbaufrequenz kann für viele Regionen, Aggregationsniveaus und anhand verschiedener Methoden aufgezeigt werden. Da angenommen werden kann, daß verkürzte Brachezeiten *c.p.* tendenziell zu einer insgesamt geringeren Bodenbedeckung führen, lassen sich auf Grundlage dieser Ergebnisse auch Rückschlüsse auf die Wirkung des Bevölkerungsdrucks auf Bodenerosion ableiten.

Andererseits gibt es auch empirische Evidenz für die Einführung bodenschonender Innovationen bzw. die Entwicklung neuer, intensiverer Produktionsmethoden und -systeme unter Berücksichtigung des Ressourcenschutzes bei steigendem Bevölkerungsdruck (Tabelle 2-4). Die teils historischen und teils auch auf dieses Jahrhundert bezogenen Studien sind weitgehend deskriptiv. Im Ackerbau werden als Innovationen eine Erhöhung der Düngungs- und Pflanzenschutzmittelintensitäten sowie mechanische, agronomische und Bodenbearbeitungsmaßnahmen zum Erosionsschutz beobachtet. Hingegen stehen in der Tierhaltung bei verstärktem Bevölkerungsdruck offenbar nicht etwa erhöhte Viehbesatzdichten im Vordergrund, sondern die Verschiebung von flächenintensiven Methoden der Futterbeschaffung bei geringen Bevölkerungsdichten hin zu arbeitsintensiven Methoden bei hohem Bevölkerungsdruck. Als Beispiel für eine derartige Innovations-Reaktion auf Bevölkerungsdruck wird seit ihrem Erscheinen im Jahr 1994 die bereits im vorigen Abschnitt vorgestellte Arbeit von TIFFEN und MORTIMORE häufig zitiert (vgl. ENGLISH et al., 1994).

Für die direkte Wirkung des Bevölkerungsdrucks auf die Bodenqualität selbst liegen nur eine ökonometrische Studie und einige deskriptive Fallstudien vor (vgl. Tabelle 2-5). Die ökonometrische Studie von GREPPERUD wurde ebenfalls im vorigen Abschnitt vorgestellt, sie läßt auf einen positiven Zusammenhang zwischen einer über die ökologische Tragfähigkeit hinausgehenden Bevölkerungsdichte und Bodenerosion im äthiopischen Hochland schließen (GREPPERUD, 1996). Dieses Ergebnis wird durch etliche Langzeit-Fallstudien vor allem für afrikanische Länder bestätigt.

Insgesamt wird deutlich, daß sich auf Grundlage der Ergebnisse der empirischen Studien allgemeine, eindeutige Aussagen über die Wirkung von Bevölkerungsdruck auf Landwirtschaft und Degradation nicht ableiten lassen. TEMPLETON und SCHERR subsummieren und bestätigen damit die im vorherigen Abschnitt vorgestellte theoretische Argumentation:

"Changes in farming systems associated with population growth can lead to either land degradation or land enhancement, or aspects of both." (TEMPLETON und SCHERR, 1997, S. 8).

Tabelle 2-3: Empirische Studien zum Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdruck, Anbaufrequenz und Verkürzung der Brachezeiten

Quelle	Länder / Region	Methode	Ergebnis
Turner, Hanham und Portararo (1977)	Regionen in 15 südamerikanischen, asiatischen und afrikanischen Ländern	Multivariate Analyse von Sekundärdaten für 29 Gruppen von Subsistenzbauern	Erhöhung der Bevölkerungsdichte haben zu höheren Anbauintensitäten geführt
Kumar (1973)	56 Länder 1960, 5 Regionen 1950 und 1960, 7 asiatische Länder und Ägypten 1960 und anderen Jahren	Analyse von Kontingenztafeln und Evaluierung von Zeitreihen	Verhältnis Brachflächen zu bebauten Flächen steigt mit dem Bevölkerungsdruck, Anbauhäufigkeit steigt
Pingali, Bigot und Binswanger (1987)	52 Regionen in Afrika südlich der Sahara	Analyse von Kontingenztafeln, 48 Feldbesuchen und Felddaten	Anbaufrequenz steigt mit Bevölkerungsdichte
Hyden, Kates und Turner (1993)	7 Standorte in Afrikanischen Ländern	Deskriptive Evaluierung von Haushalt-, Dorf- und Regionaldaten	Anbauhäufigkeiten und Bevölkerung sind gestiegen
Garcia-Barrios und Garcia-Barrios (1990)	Verschiedene Regionen im südlichen Mittelamerika	Primärdaten von Pastor (1980) und Wolf (1959)	Aufgabe terrasierter Hanglagen, Verlängerung der Brachezeiten und Anbau arbeitsintensiver Kulturen nach der Eroberung durch die Spanier und Abnahme der Bevölkerungsdichte auf dem Land

Tabelle 2-4: Empirische Studien zum Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdruck, Düngungsintensität und Bodenschutzmaßnahmen

Quelle	Länder / Region	Methode	Ergebnis
Boserup (1981)	81 Entwicklungsländer	Analyse von Kreuztabellen mit Länderdaten	Höherer Düngemitelesatz in Ländern mit hoher Bevölkerungsdichte
Pingali und Binswanger (1987)	57 Standorte in Asien, Afrika und Lateinamerika	Analyse von Kreuztabellen mit Daten von Fallstudien	Bodenverbesserungen und Düngemitelesatz steigen mit erhöhter Anbaufrequenz
Hyden, Kates und Turner (1993)	7 Standorte in Afrikanischen Ländern	Deskriptive Evaluierung von Haushalt-, Dorf- und Regionaldaten	Steigende Bevölkerungsdichten gehen einher mit <i>ridging</i> , Terrassierung, dem Einsatz neuen Saatguts, von Düngemitteln und Pestiziden
Pingali, Bigot und Binswanger (1987)	Kigezi District, Uganda	Deskriptive Evaluierung von Primärdaten aus dem Jahr 1947	<i>Intercropping</i> und Terrassierung bei hoher Bevölkerungsdichte im Jahr 1944
Tiffen, Mortimore und Gichuki (1994)	Machakos, Kenia	Evaluierung von Fotografien 1937-1991, <i>farm survey</i> - und Daten von Feldstudien	Verstärkter Terrassenbau, Kompostierung und organische Düngung bei gleichzeitiger Verfünffachung der Bevölkerung zwischen 1930 und 1990

Quelle: TEMPLETON und SCHERR (1997)

Tabelle 2-5: Empirische Studien zum Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdruck und Bodendegradation

Quelle	Länder / Region	Methode	Ergebnis
Grepperud (1996)	47 <i>awrajas</i> im Äthiopischen Hochland	Logit Analyse mit rangskalierten Regionaldaten aus Primärquellen	Je höher die tatsächliche Bevölkerungsdichte im Verhältnis zur potentiellen Bevölkerungstragfähigkeit, desto mehr Bodenerosion
Bernard (1993)	Meru District, Kenia	Deskriptive Analyse von Daten aus 161 Betrieben 1986, Volkszählung 1979	Betriebe in dicht besiedelten Gegenden nutzen auch steile und steinige Flächen und haben mehr Bodenerosion, Bodenfruchtbarkeitsverluste
Repetto (1986)	Wassereinzugsgebiet in West Java	Deskriptive Analyse von Sedimentdaten von USAID, Bevölkerungsdaten der Weltbank	Sedimentverluste von 1mm/a 1911, 2mm/a 1935 und 6mm/a 1980, Bevölkerung ist zwischen 1930 und 1980 um 1,9%/a gewachsen
Tagwira (1992)	Gebiete mmit Gemeindeland in Zimbabwe	Analyse von Kontingenztafeln mit Daten von 1988	Anteil Gemeindeland, das moderat bis sehr stark erodiert ist, steigt mit Bevölkerungsdichte

Quelle: TEMPLETON und SCHERR (1997)

Der Einfluß preispolitischer und anderer ökonomischer Rahmenbedingungen wurde bisher kaum direkt, anhand strukturenprüfender Schätztechniken untersucht. Einzelne Beispiele finden sich im Bereich geschätzter *Kuznets*-Kurven, u.a. für die Abholzung tropischer Wälder (vgl. STERN et al., 1996, S. 1153 ff.⁴³). Die meisten Untersuchungen haben eher qualitativen, deskriptiven Charakter. PANTHUMVANIT und PANAYOTOU konnten in einer Studie über den thailändischen Agrarsektor zeigen, daß ein steigendes Niveau der Agrarproduktpreise eine zusätzliche Flächennachfrage induziert hat, allerdings in relativ geringerem Maße als der Bevölkerungsdruck und die Höhe außerlandwirtschaftlicher Einkommen (PANTHUMVANIT und PANAYOTOU, 1990, zitiert in BARBIER, 1997, S. 129). In Malaysia und Indonesien haben Preis- und Außenhandelspolitiken mit dem Ziel einer höheren Verarbeitungsstufe bei Exportholz dazu geführt, daß verstärkt abgeholzt wurde. Eine wichtige Rolle scheint in Südostasien auch die Kurzfristigkeit von Abholzungskonzessionen und Nutzungsrechten zu spielen (REPETTO und GILLIS, 1988; PARIS und RUZICKA, 1991, zitiert in BARBIER, 1997, S. 129).

CAPISTRANO und KIKER konnten in einer ökonometrischen Abholzungsanalyse für 45 Länder die Rolle hoher Agrarpreise bei der Abholzung zum Zweck der Extensivierung der Landnutzung nachweisen (1995, S. 25 ff.). Ebenso identifizieren sie die Effekte von Abwertungsmaßnahmen im Rahmen von Strukturanpassung sowie des gestiegenen Schuldendienstes als Determinanten der zusätzlichen Abholzung. In einer ebenfalls ökonometrischen Studie unter Einschluß aller Tropenwaldländer konnte BURGESS zwar einen Einfluß des Schuldendienstniveaus nicht nachweisen, fand aber heraus, daß der allgemeine wirtschaftliche Entwicklungsstand - gemessen am BSP *per capita* - den Druck auf das Land mitbestimmt (BARBIER und BURGESS, 1997). Unter den von SHAFIK untersuchten makroökonomischen Größen haben die Investitionsrate (definiert als Anteil der Kapitalneubildungsrate am BIP), die Bedeutung des internationalen Handels (Anteil des Wertes der totalen Importe und Exporte am BIP) sowie das Niveau der Energiepreise statistische Relevanz für die jährlichen Abholzungsraten. Den positiven Zusammenhang zwischen der Höhe der Investitionsrate und jährlichen Abholzungsraten deutet der Autor dahingehend, daß Waldressourcen sich zu physischen Investitionen komplementär verhalten, weswegen Volkswirtschaften mit hoher Investitionstätigkeit tendenziell stärker abholzen als solche mit niedriger Investitionstätigkeit. Hingegen steht der Stellenwert internationalen Handels in negativem Zusammenhang mit den Abholzungsraten – Länder mit einem hohen Anteil Handelstätigkeit üben tendenziell weniger Druck auf den Wald aus. Hinter dem unerwarteten Zusammenhang zwischen hohen Energiepreisen und geringen Abholzungsraten vermutet SHAFIK eine

⁴³ STERN et al. fassen die Ergebnisse der relevantesten empirischen *Kuznets*-Regressionsschätzungen zusammen. Die Autoren der entwicklungsländerbezogenen Studien sind: SHAFIK und BANDYOPADHYAY (1992); PANAYOTOU (1993); CROPPER und GRIFFITHS (1994).

Gemeinsamkeitskorrelation⁴⁴ mit anderen Größen wie z.B. allgemeinen Preisverzerrungen (SHAFIK, 1994a, S. 92 f.).

BARBIER beschreibt, wie die Profitabilität von Gummi Arabicum im Sudan durch die überbewertete Währung künstlich niedrig gehalten wird, was sich noch dadurch verstärkt, daß in der Produktion sehr wenig importierte Inputs verwendet werden. Der Gummi Arabicum-Gürtel im Norden des Sudan erfüllt bei der Vermeidung von Desertifikation und Bodendegradation eine wichtige Funktion. In Ghana hat die Abwertung der Währung in Kombination mit Produzentenpreiserhöhungen für Kakao vermutlich zwei Effekte gehabt: Einerseits haben Einkommenseffekte die armutsbedingte Inkulturnahme zusätzlicher marginaler Flächen reduziert; andererseits wurde durch die erhöhte Wirtschaftlichkeit des Kakaoanbaus der Anreiz für zusätzliche Produktion und die damit verbundene Rodung verstärkt (CONWAY und BARBIER, 1990 zitiert in BARBIER, 1997, S. 125). Zwei Studien kommen zu dem Ergebnis, daß höhere Holzpreise und erhöhte Gewinne in der Landwirtschaft zu zusätzlichen Baumpflanzungen und verstärkter Terrassierung geführt haben (EDER, 1981 und CLAY et al., 1995; zitiert in TEMPLETON und SCHERR, S. 47).

⁴⁴ Gemeinsamkeitskorrelation bezeichnet eine formale Korrelation zwischen zwei Größen, die nicht direkt in Zusammenhang stehen, aber über eine dritte Größe, mit der jede einzelne von ihnen korreliert ist, formal in Zusammenhang stehen (KÖHLER et al., 1984, S. 52).

Tabelle 2-6: Empirische Studien zum Zusammenhang zwischen Preisen, makroökonomischen Größen und Abholzung

Quelle	Länder / Region	Methode	Ergebnis
Shafik (1994)	Ca. 70 Entwicklungsländer	Multivariate Analyse von FAO und anderen Daten, 1962-85	Zusammenhang zwischen BIP pro Kopf sowie Verschuldung und Abholzung nicht nachweisbar, aber zwischen Abholzung und - Investitionsrate (positiver Zusammenhang), - Anteil Handel an BIP (negativer Zusammenhang), - Energiepreisen (negativer Zusammenhang) ¹⁾ .
Capistrano (1990)	45 Entwicklungsländer	Multivariate Regressionsanalyse mit IMF, FAO und UNEP-Daten	Determinanten Abholzung für verschiedene Perioden: 67-71: Wert Tropenholz (positiver Zusammenhang) 72-75: BIP pro Kopf und Selbstversorgungsgrad Getreide (positiver Zusammenhang) 76-80: Höhe der Wechselkurs-Abwertungen (positiver Zusammenhang) Anfang 80er: Bevölkerungsdichte (positiver Zusammenhang)
Kahn und McDonald (1992)	55 Entwicklungsländer	2-stufige multivariate Regression mit Daten der FAO für 1981-85	Positiver Zusammenhang zwischen Verschuldung und Abholzung
Burgess (1991)	44 Entwicklungsländer	Multivariate Regressionsanalyse	Abholzung in Zusammenhang mit BIP pro Kopf, Schuldendienst [% an Exporten], Volumen der Rundholzproduktion, Volumen der Nahrungsmittelproduktion (alle: positiver Zusammenhang).
Katila (1992)	Thailand	Zeitreihenanalyse (?)	Zusammenhang Abholzung und niedriger Marktpreis für Bauholz (negativer Zusammenhang)
Panayotou und Sungsuwan (1994)	Nord-Ost Thailand	Empirische Schätzung von Nachfragemodellen	Zusammenhang Waldanteil und Holzpreise, Kerosinpreise (beide: negativer Zusammenhang)

¹⁾ Shafik quantifiziert die genannten Größen wie folgt:
Investitionsrate: Anteil der Kapitalneubildungsrate am BIP
Anteil des Handels am BIP: Anteil des Wertes der totalen Importe und Exporte am BIP
Energiepreise: Elektrizitätspreise.

Quelle: BROWN und PEARCE (1994)

Als Beispiel für den Einfluß des internationalen Handels auf Degradation wird von einigen Autoren die sogenannte *cassava connection* zwischen Indonesien, Thailand und der Europäischen Union genannt. Indonesien und Thailand konkurrieren um einen jeweils möglichst hohen Anteil an der EU-Importquote für Cassava. Um einen bestehenden Anteil an der Gesamtquote kurzfristig zu sichern, hat Indonesien einen wachsenden Anteil der Inlandsproduktion exportiert. Dies wiederum führte zu einer erhöhten Inlandsnachfrage, gestiegenen Inlandspreisen, verstärkter Rodung von Naturwald und der Expansion der Produktion auf Hanglagen auf Java.

In einer ganz anderen Art von Analysen wird versucht, den Einfluß ausgewählter Größen anhand theoretischer Modelle abzuleiten und teilweise auch empirisch zu quantifizieren. Bei der Formulierung der Modelle wird die Entscheidungssituation der einzelnen Landnutzer oder, aggregiert, der Gesellschaft annäherungsweise modellhaft dargestellt, wodurch grundsätzlich auch Rückschlüsse auf die Bedeutung verschiedener externer Einflußgrößen und ihrer Veränderung möglich sind. Gemäß dem Charakter der Ressource Boden als sich über die Zeit verändernder Produktionsfaktor stehen im Zentrum Modelle der dynamischen Optimierung (vgl. PERMAN et al., 1996, S. 116 ff.). Zu nennen sind hier auf der einen Seite dynamische oder mehrperiodische lineare Optimierungsmodelle (LP-Modelle)⁴⁵. In der Arbeit von WAHBY, deren wesentliche Ergebnisse bereits im Zusammenhang mit den Hypothesen zur Wirkung von Preisrelationen auf Bodenerosion vorgestellt wurden (vgl. S. 36), untersucht der Autor auf der Grundlage eines LP-Modells den Einfluß veränderter Faktor- und Produktpreise auf Landnutzung und Bodenerosion für einen Modellbetrieb im *Murang'a District* in Kenia⁴⁶. Die Erosionswirkungen verschiedener Landnutzungsalternativen werden in das Modell durch Erosionskoeffizienten integriert, welche auf Grundlage der USLE berechnet werden. Produkt- und Faktorpreise werden in verschiedenen Simulationsrechnungen parametrisiert, und der quantitative Einfluß veränderter Preise auf Betriebsorganisation, Anbaustruktur und Bodenerosion analysiert. WAHBY zeigt, daß Reaktionen der Landnutzer auf veränderte Preisrelationen durch Produktionsbeschränkungen und begrenzten Marktzugang weitgehend unterdrückt werden, so daß Preisänderungen allein kaum ein verändertes Erosionsniveau bewirken können (WAHBY, 1996, S. 168).

Stärker durchgesetzt haben sich auf der anderen Seite die aus der Ressourcenökonomie stammenden Modelle der optimalen Ressourcennutzung (*optimal resource depletion*

⁴⁵ MORGENROTH z.B. gibt eine systematische Übersicht über verschiedene Möglichkeiten, Bodenerosion und Bodenschutz in lineare Optimierungsmodelle zu integrieren. Die verschiedenen Ansätze unterscheiden sich in der Zielsetzung, ihren Annahmen, dem Modelltyp, der Art der Integration des Bodenschutzes und vor allem in den Datenerfordernissen (1992, S. 40 ff.).

⁴⁶ Weitere Autoren, die Bodenerosion und -schutz in LP-Modelle integrieren, sind: SCHACH (1987), WERNER (1989), SCHMIDTLEIN (1990), JAROSCH (1990), MORGENROTH (1992).

models), insbesondere Modelle der optimalen Kontrolle oder Steuerung⁴⁷, die ebenfalls auf der intertemporalen Nutzenmaximierung basieren. Vorteile gegenüber den LP-Modellen sind, daß nicht-lineare Beziehungen einfacher in das Modell integriert werden können und daß Erosionsschäden bzw. ihre Vermeidung über den Bodenwert endogener Teil der Zielfunktion sind. Die modelltheoretischen Annahmen und abgeleiteten Ergebnisse zum Einfluß von Preisen von BARRETT wurden im vorigen Abschnitt vorgestellt - die empirische Prüfung seines Modells steht noch aus.

PENDER modelliert anhand eines neoklassischen Wachstumsmodells einen U-förmigen Zusammenhang zwischen der Intensivierung der Agrarproduktion und Investitionen landwirtschaftlicher Haushalts-Betriebs-Einheiten in natürliche Ressourcen unter Einbeziehung der langfristigen Bevölkerungsentwicklung (PENDER, 1998, S. 99 ff.). Auch dieses Modell bedarf noch einer empirischen Validierung. Des weiteren sind COXHEAD und JAYASURIYA anhand eines allgemeinen Gleichgewichtsmodells, das die Wirtschaft eines Entwicklungslandes vereinfacht darstellt, den Auswirkungen handels- und steuerpolitischer Eingriffe auf Bodenerosion nachgegangen. Sie kommen zu dem Ergebnis, daß insbesondere eine Erhöhung direkter Exportsubventionen für Baumkulturen ebenso wie eine höhere direkte Besteuerung der Produktion einjähriger Kulturen zu einer Ausdehnung der Baumkulturfläche im Verhältnis zur Fläche mit einjährigen Kulturen führen und darüber zu verminderten Erosionsraten (COXHEAD und JAYASURIYA, 1995, S. 641).

Die genannten theoretisch abgeleiteten Modelle beruhen allerdings ausnahmslos auf Annahmen bzgl. des technischen Zusammenhangs zwischen wirtschaftlichen Aktivitäten und Bodenerosion. Meist wird dieser Zusammenhang anhand der USLE oder von der USLE abgeleiteter Schätzgleichungen⁴⁸ quantifiziert, die Parameter der USLE gelten aber vorwiegend für nordamerikanische Verhältnisse. Hinzu kommen Annahmen zur Veränderung der Produktionsfunktion über die Zeit, d.h. insbesondere zu den technischen Relationen zwischen dem Einsatz von z.B. Oberboden als Produktionsfaktor und dem Ertrag über die Zeit, was insbesondere im Zusammenhang mit der monetären Bewertung des Bodens in einigen Modellen von Bedeutung ist. Wenig Informationen gibt es weiterhin bzgl. der tatsächlichen Substitutionsbeziehungen und deren Elastizitäten zwischen Boden und anderen Produktionsfaktoren, die oft als Annahmen im Modell spezifiziert sind (s. auch THAMPAPILLAI und ANDERSON, 1994, S. 295 und 309). Ein weiteres, ganz anders gelagertes Problem der dynamischen Optimierungs- und Wachstumsmodelle ist, daß nur eine recht begrenzte Anzahl von Variablen in die Modelle Eingang finden kann. Diese Variablen müssen vorab aufgrund theoretischer

⁴⁷ Bei PERMAN et al. (1996) findet sich eine vergleichende Darstellung verschiedener Ressourcenextraktionsmodelle. Beispiele für derartige Modelle sind die von McCONNELL (1983), GOETZ (1997), POPE et al. (1983) und BARRETT (1991).

⁴⁸ Ein Beispiel ist die für Kenia modifizierte USLE (FAO, 1991).

Überlegungen ausgewählt werden, und es ist nicht auszuschließen, daß wichtige Variablen unberücksichtigt bleiben.

2.4 Zusammenfassung

- Nachdem bei der wissenschaftlichen Analyse von Erosionsprozessen anfangs naturwissenschaftliche, bodenkundliche Aspekte im Vordergrund standen, hat sich aus der Analyse der anthropogenen Erosionsursachen mittlerweile ein eigener Forschungsbereich herausgebildet, der derzeit von neoklassischen Theorieansätzen geprägt ist. Die Bewertung der Ressource Boden als Produktionsfaktor hat zu der Analyse anhand produktionsökonomischer Ansätze geführt, in die gerade auch im Entwicklungsländerkontext dynamische Größen wie Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum und technischer Fortschritt einbezogen werden. Demgegenüber werden Erosionschäden, die außerhalb der Landwirtschaft auftreten, im Rahmen der Theorie Externer Effekte diskutiert. Unter den auf dieser Basis identifizierten Determinanten im Bereich Markt- und Politikversagen stehen Divergenzen zwischen privaten und sozialen, gesellschaftlichen Bodenschutzzielen - auch im Rahmen gemeinschaftlich genutzter Ressourcen - sowie die fehlallokative Wirkung von Politiksignalen im Mittelpunkt. Darüber hinaus haben institutionen- und politisch-ökonomische Beiträge vor allem bewirkt, daß institutionelle Rahmenbedingungen und politische Interessen auf verschiedenen Ebenen – Haushalt, Gemeinde, nationale und internationale Politik – sowie die Verflechtung dieser Ebenen heute stärker berücksichtigt werden.
- Zu den wichtigsten in der Literatur diskutierten erosionsrelevanten Faktoren gehören
 - Armut,
 - Bevölkerungsdruck,
 - makroökonomische und Sektorpolitiken, die Einfluß auf Agrarpreise haben, sowie
 - unangepaßter technischer Fortschritt.

Generell besteht ein Konsens darüber, daß die Landnutzer im Rahmen ihrer Möglichkeiten auf Veränderungen dieser Größen durch veränderte Landnutzungspraktiken reagieren. Hier sind vor allem veränderte Landnutzungsintensitäten, Brachezyklen, die Extensivierung der Nutzfläche – u.U. auch auf marginale Böden – und konkrete Bodenschutzmaßnahmen zu nennen. Für welche Handlungsalternative bzw. Entwicklungsmöglichkeit die Landnutzer sich unter welchen Bedingungen entscheiden, und wie diese sich auf Bodenerosion auswirken, ist im einzelnen umstritten. In eher optimistischen Szenarien wird davon ausgegangen, daß Armuts- und Bevölkerungsdruck langfristig zu innovativen Reaktionen und zu Wirtschaftswachstum führen, die dem Boden zuträglich sind. In negativen Szenarien überwiegen hingegen Stimmen, die gerade in diesem Druck bei gleichzeitigem nationalen wie internationalen Preisdruck und der Verbreitung von technischem Fortschritt, der an die Faktor- und Ressourcenknappheiten nicht angepaßt ist, die wesentliche Ursache für die kurz-sichtige Übernutzung des Bodens sehen. Es fällt auf, daß verschiedene Autoren auf z.T. unterschiedliche Erosionsdeterminanten fokussieren und die relative Bedeutung einzelner Determinanten sehr unterschiedlich bewerten. Offen bleibt, ob der Stellen-

wert, der der Armut bzw. den Armen als Verursacher von Bodenerosion allgemein zugeschrieben wird, haltbar ist, vor allem angesichts der Tatsache, daß auch große, wohlhabendere Produzenten in Entwicklungsländern unter Zins- und Preisdruck stehen, mit den entsprechenden Auswirkungen auf Zeithorizont und –präferenzen.

- Bislang gibt es für die zentralen Thesen zu den anthropogenen Erosionsursachen nur unzureichende empirische Evidenz. Die Ergebnisse einzelner Studien beziehen sich zumeist nicht direkt auf Bodenerosion und sind zudem teilweise widersprüchlich. Sie deuten darauf hin, daß Bevölkerungswachstum, Entwaldung, Wachstum der landwirtschaftlichen Nutzfläche und Intensivierung langfristig miteinander einhergehen. Insbesondere die Wirkung eines steigenden Bevölkerungsdrucks auf Intensivierung durch Verkürzung der Brachezeiten und durch Mehrfachanbau wird für den lokalen und regionalen Kontext nachgewiesen, so daß eher auf negative Wirkungen des Bevölkerungsdrucks auf den Boden geschlossen werden kann. Andererseits lassen sich auch Gegenbeispiele finden, bei denen die Einführung technischen Fortschritts die Ernährung und Beschäftigung einer stark steigenden Bevölkerung auf bodenverträgliche Weise ermöglicht hat. Für Determinanten aus den agrarpolitischen, makroökonomischen und internationalen Bereichen ist die empirische Basis noch schmäler. Tendenzen bzgl. der tatsächlichen Wirkungsrichtung und –stärke veränderter Preise, Wechselkurse und Außenhandelspolitik auf Bodenerosion lassen sich nicht erkennen.

Insgesamt orientieren sich sowohl die theoretische Diskussion als auch die empirischen Studien zur Fragestellung an einzelnen Hypothesen über die Relevanz und die Wirkungsweise oft isoliert betrachteter anthropogener Erosionsdeterminanten. Eine zusammenhängende Theorie ist nicht zu erkennen. Für die vorliegende Arbeit unterstreicht dies **erstens** den bestehenden Forschungsbedarf hinsichtlich einer umfassenden, multivariaten empirischen Analyse zur Aufdeckung grundlegender Zusammenhänge. **Zweitens** impliziert das theoretische Defizit, daß die Substanz für die Ableitung eines strukturellen Modells nicht gegeben ist, so daß methodisch ökonometrischen Analyseverfahren der Vorzug zu geben ist. Die im Abschnitt 2.2 herausgearbeiteten, in der Literatur diskutierten Annahmen zur Wirkungsweise einzelner Erosionsdeterminanten sind dementsprechend nicht als Grundlage zu modellierender und zu verifizierender Arbeitshypothesen, sondern vielmehr als generelle Ausgangsbasis für die Definition von Indikatorvariablen für eine ökonometrische Analyse zu verstehen.

Die Tatsache, daß eine derartige Analyse bislang nicht durchgeführt wurde, ist vor allem darauf zurückzuführen, daß die bestehende Datengrundlage für Bodenerosion bis zu Beginn der 90er Jahre auf einzelne Standorte begrenzt war, darunter nur wenige in Entwicklungsländern. Auf welche Weise die erste globale Datengrundlage zur Bodendegradation – das *Global Assessment of Soil Degradation* (GLASOD) – als Basis einer umfassenden empirischen Analyse genutzt werden kann, ist Inhalt des folgenden Kapitels.

3 Quantitative Erfassung der Bodenerosion im Ländervergleich

Mit dem *Global Assessment of Soil Degradation* (GLASOD), liegt seit 1991 erstmals eine weltweite Studie über Ausmaß, Schwere und Art der Bodendegradation und somit auch der Bodenerosion vor. Bis heute ist diese Erhebung die einzige, in der derartig umfassend und nach einheitlichen Richtlinien eine Einschätzung der Bodendegradation vorgenommen wird.

Im Mittelpunkt dieses Kapitels steht die Aggregation der Ausgangsdaten des GLASOD auf die nationale Ebene. Damit wird einerseits eine bis dato nicht vorliegende Beschreibung von Ausmaß und Schwere der Bodenerosion im Entwicklungsländervergleich ermöglicht. Andererseits sind die aggregierten Erosionsdaten Grundlage der Definition nationaler Erosionsindizes für die empirische Analyse der vorliegenden Arbeit.

Zunächst werden Ziele und Erhebungsmethoden des GLASOD sowie die Art der erhobenen Informationen vorgestellt (3.1). Dann wird gezeigt, wie auf Grundlage der GLASOD-Daten die relevanten Größen zur vergleichenden Beschreibung der Erosion in Entwicklungsländern für die vorliegende Arbeit extrahiert und aggregiert werden (3.2). Anhand dieser Größen werden dann Problemregionen und Problemländer identifiziert, und die wichtigsten unmittelbaren Erosionsursachen im landnutzerischen Bereich dargestellt (3.3).

3.1 GLASOD: Ziele und Erhebungsmethoden

Die Erkenntnis, daß es zur Bekämpfung der weltweit zunehmenden Degradation der Ressource Boden einer umfassenden Bestandsaufnahme des Ausmaßes der Bodendegradation bedarf, ist nicht neu. Schon zu Beginn der 70er Jahre berieten Experten der *International Society of Soil Science* (ISSS), der *Food and Agricultural Organization* (FAO) und des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP)⁴⁹ darüber, auf welche Weise und mit welcher Genauigkeit eine solche Bestandsaufnahme umgesetzt werden könne. Vorschläge zum methodischen Vorgehen, wie sie z.B. im *World Soils Policy Document* der UNEP (1982) und in einem Diskussionspapier von SOMBROEK (1985) unterbreitet wurden, gipfelten 1986 in dem von der ISSS erarbeiteten Projektentwurf für die *World Soils and Terrain Digital Database* (SOTER). SOTER sollte im Maßstab von 1:1 Mio. eine detaillierte Grundlage für nationale und regionale Planungsschwerpunkte darstellen.

⁴⁹ Außerdem waren Experten der *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) und der *World Meteorological Organization* (WMO) beteiligt.

Bald jedoch wurde realisiert, daß eine derart kleinmaßstabige Bestandsaufnahme mindestens 15 Jahre in Anspruch nehmen würde. In Anbetracht der drängenden Degradationsprobleme forderten UNEP und Experten des ISSS deshalb 1987:

„...to produce, on a basis of incomplete knowledge, a scientifically credible global assessment of soil degradation in the shortest possible time.“ (OLDEMAN et al., 1991, S. 2).

UNEP formulierte einen entsprechenden Projektentwurf für dieses *Global Assessment of Soil Degradation*, das innerhalb von drei Jahren im Maßstab 1:10 Mio. erstellt werden sollte, mit dem *International Soil Reference and Information Centre* (ISRIC) als designerter Durchführungsorganisation. Als Hauptziel des GLASOD wird in den Projektunterlagen hervorgehoben:

„...strengthening the awareness of policy-makers and decision-makers of the dangers resulting from inappropriate land and soil management, and leading to a basis for the establishment of priorities for action programmes.“ (OLDEMAN et al., 1991, S. 2)⁵⁰.

Als Erhebungsmethode wurde der sogenannte *expert-system approach* gewählt: In Zusammenarbeit mit etwa 250 Wissenschaftlern, die jeweils für eine bestimmte Region verantwortlich waren, wurden auf der Grundlage einheitlicher Leitlinien Daten zu Bodendegradationstypen, dem Ausmaß der Degradation sowie ihren unmittelbaren Ursachen erhoben. Zu diesem Zweck wurde die Welt in rd. 2.000 physiographische Einheiten (*mapping units*) eingeteilt, die in sich bzgl. Topographie, Böden, Klima, Vegetation und Landnutzung relativ homogen sind. Für jede *mapping unit* wurden auf Schätzungen der zuständigen Wissenschaftler beruhende Angaben zu den in Tabelle 3-1 auf der folgenden Seite genannten Größen gemacht. Wichtig dabei ist, daß vorwiegend die durch menschliches Eingreifen ausgelöste Degradation (im folgenden: anthropogene Degradation) erfaßt werden sollte.

⁵⁰ Hier ist vor allem eine geographische Prioritätensetzung gemeint.

Tabelle 3-1: Informationen des GLASOD für jede *mapping unit*

Merkmal	Kategorien
Degradationstyp	<p>Drei Haupttypen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Chemische Degradation, - Physikalische Degradation, - Erosion (Wind- und Wassererosion). <p>Zusätzlich ausgewiesen sind stabile Flächen, d.h. unerodierte und stabilisierte Flächen sowie Flächen, die aufgrund historischer oder rezenter natürlicher Prozesse vollständig degradiert sind (Wüsten etc., englisch: <i>wastelands</i>).</p> <p>Pro <i>mapping unit</i> werden maximal zwei Typen angegeben.</p>
Degradationsgrad	Vier Schweregrade, Einteilung gemäß der geschätzten Veränderung der landwirtschaftlichen Eignung des Bodens.
Degradationsfläche	Anteil der degradierten Fläche an der Gesamtfläche der <i>mapping unit</i> . Fünf Gruppen, von unter 5% bis über 50%.
Degradationsursache	<p>Art des menschlichen Eingriffs, durch den Degradation nach Einschätzung der Experten im wesentlichen ausgelöst wurde. Fünf mögliche Ursachen (maximal zwei pro <i>mapping unit</i>):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abholzung und Entfernung der natürlichen Vegetation (F) - Überweidung (G) - Landwirtschaftliches Mißmanagement i.w.S. (A) - Übernutzung der Vegetation für Haushaltszwecke (E) - Industrielle Aktivitäten (I).

Quelle: nach OLDEMAN et al., 1991, S. 12 ff.

Die Maßstäbe zur Beurteilung des Degradationsgrades sind insofern von besonderem Interesse, als sie sich an der Einschränkung der landwirtschaftlichen und biotischen Potentiale des Bodens durch Degradation orientieren (vgl. Tabelle 3-2). Damit weicht das GLASOD von klassischen, eher naturwissenschaftlichen Maßstäben ab. Meist wird die Erosionsschwere in Tonnen Bodenabtrag pro Hektar und Jahr angegeben bzw. geschätzt, der erosionsbedingte Produktivitätsverlust entsprechend in kg entgangenem Ertrag pro Hektar und Jahr. Als großer Nachteil dieser Größen hat sich jedoch erwiesen, daß zu ihrer Schätzung sehr genaue Informationen über klimatische, bodenmäßige, topographische und landnutzerische Voraussetzungen an jedem einzelnen zu beurteilenden Standort notwendig sind. Gleichzeitig ist eine Übertragung von Schätzparametern für einen Standort auf andere sehr problematisch. Der bei dem GLASOD gewählte landnutzerische Blickwinkel fokussiert nicht auf die mikrobiologische, -physikalische und -chemische Ebene, sondern liefert flächendeckend und für relativ kleine Einheiten Informationen über geschätzte erosionsbedingte Produktivitätsverluste. Trotz dieses Vorteils darf nicht übersehen werden, daß den Experten hier ein noch größerer subjektiver Ermessensspielraum bleibt als bei der Einschätzung der anderen Kategorien.

Tabelle 3-2: Klassifizierung der *mapping units* nach dem Schweregrad der Degradation

Schweregrad	Definition
„1“ Gering	Die landwirtschaftliche Eignung des Bodens ist geringfügig zurückgegangen. Wiederherstellung der ursprünglichen Produktivität ist durch Veränderungen des Managements möglich. Die ursprünglichen biotischen Funktionen des Bodens sind weitgehend intakt.
„2“ Mittel	Die landwirtschaftliche Produktivität des Bodens ist stark zurückgegangen, dennoch ist er weiterhin geeignet für lokale Landnutzungssysteme. Zur Wiederherstellung der ursprünglichen Produktivität sind erhebliche Verbesserungen notwendig. Die ursprünglichen biotischen Funktionen des Bodens sind teilweise zerstört.
„3“ Schwer	Der Boden ist auf Betriebsebene nicht mehr kulturfähig. Erhebliche bautechnische Maßnahmen sind notwendig, um das Terrain wiederherzustellen. Die ursprünglichen biotischen Funktionen des Bodens sind weitgehend zerstört.
„4“ Extrem	Der Boden ist nicht mehr kulturfähig, das Terrain kann nicht wiederhergestellt werden. Die ursprünglichen biotischen Funktionen des Bodens sind vollkommen zerstört.

Quelle: nach OLDEMAN et al., 1991, S. 14 f.

Bei der Interpretation und weiteren Bearbeitung der GLASOD-Daten muß vor allem auch Folgendes im Auge behalten werden:

- (1) Es handelt sich bei dem GLASOD um eine Momentaufnahme, d.h. es gibt nur grobe Anhaltspunkte dafür, wie der ursprüngliche Zustand der Böden war, in welchem Zeitraum Degradationsprozesse stattgefunden haben und wie der zeitliche Verlauf dieser Prozesse war⁵¹. Im wesentlichen fokussiert das GLASOD jedoch auf anthropogene Erosionsprozesse der jüngsten Vergangenheit.
- (2) Es wird von der vereinfachenden Annahme ausgegangen, daß es möglich ist, nur die durch menschliches Eingreifen bewirkte Bodendegradation zu schätzen.

⁵¹ Zwar wurde im Rahmen des GLASOD mit der Erhebung des Indikators *recent-past rate of soil degradation* auch versucht, Angaben zur Degradationsgeschwindigkeit in den letzten 5 bis 10 Jahren vor der Erhebung zu machen, die Angaben sind aber sehr unzuverlässig (vgl. OLDEMAN et al., 1991, S. 19; ebd., 1997, S. 86).

3.2 Aggregation der GLASOD-Daten zu Länder- und Regionaldaten

Bevor die Aggregation der im GLASOD enthaltenen Informationen dargestellt wird, ist definitorisch einzugrenzen, welche der Degradationstypen im einzelnen für Bodenerosion miteinbegriffen werden. Allgemein wird Bodenerosion folgendermaßen definiert:

„Die durch Eingriffe des Menschen ermöglichten und durch erosive Niederschläge oder den Wind ausgelösten Prozesse der Ablösung, des Abtransportes und der Ablagerung von Bodenpartikeln.“ (BORK, 1988, S.2)

Diese Prozesse sind durch die Hauptdegradationstypen Wind- und Wassererosion des GLASOD erfaßt, bei denen unterschieden wird zwischen dem Verlust von Oberboden und Oberflächendeformationen wie Rillen- und Gully-Erosion bis hin zu Erdrutschen⁵². Bei Winderosion kommt noch die Verwehung von Flächen als *off-site* Effekt hinzu. Darüber hinaus soll in der vorliegenden Analyse eine der chemischen Degradationsformen mitberücksichtigt werden, die im bodenkundlichen Sinne nicht der Erosion zuzurechnen ist: der Verlust von Nährstoffen und organischer Substanz im Oberboden (*soil depletion*), der **nicht** von Wind- oder Wassererosion verursacht wird. Die GLASOD-Beschreibung für diese Degradationsform lautet:

„Loss of nutrients and / or organic matter occurs if agriculture is practised on poor or moderately fertile soils, without sufficient application of manure or fertilizer. It causes a general depletion of the soils and leads to decreased production.[...] The rapid loss of organic matter after clearing the natural vegetation is also included in this type of soil degradation...“ (OLDEMAN, 1991, S. 13).

Der Grund dafür, diese Degradationsform mit in die Analyse einzubeziehen, ist, daß hier eine ähnliche Struktur der sozioökonomischen Ursachen vermutet werden kann wie bei Wasser- und Winderosion. Andersherum betrachtet würde ihre Vernachlässigung unweigerlich zu einer Verzerrung der vergleichenden Analyse führen: Regionen, in denen diese Degradationsform aufgrund der natürlichen - klimatischen und bodenmäßigen - Bedingungen vorherrscht, würden als relativ gering degradiert bzw. erodiert erscheinen. Im folgenden wird dementsprechend der Begriff Bodenerosion in dieser erweiterten Form verwendet, unter Einschluß nicht-erosionsbedingter Verluste von Nährstoffen und organischer Substanz im Oberboden⁵³.

Um aus den GLASOD-Daten Informationen zum Stand der Bodenerosion in einzelnen Entwicklungsländern und in verschiedenen abgegrenzten Regionen zu extrahieren, ist es notwendig, die auf die *mapping units* bezogenen Daten auf Länder- und dann auf Regio-

⁵² Im Englischen *mass movement* (vgl. OLDEMAN, 1991, S. 12).

⁵³ Vgl. auch IFAD, 1992, S. 18 ff und S. 95: Hier wird unterschieden zwischen Bodenerosion durch Wind und Wasser und der – erosionsunabhängigen - *reduction in soil fertility* als wichtigsten Degradationsformen.

nalebene zu aggregieren. Mittels eines geographischen *overlays* der GLASOD-Karte mit einer politischen Karte können die Informationen zum vorherrschenden Degradationstyp, -grad und der unmittelbaren Degradationsursache zunächst eindeutig einzelnen Ländern zugeordnet werden⁵⁴. *Mapping units*, die sich über zwei oder mehrere Länder erstrecken, werden aufgeteilt. Eine Schwierigkeit dabei ist, daß die Lokalisierung der erodierten Flächen innerhalb einzelner *mapping units* nicht ausgewiesen ist. Es wird deshalb davon ausgegangen, daß der Anteil erodierter Fläche (Erosionsausmaß [%], s.o.) und auch das Vorkommen verschiedener Erosionstypen und direkter Erosionsursachen in allen Teilstücken gleich sind. Dies ist auch deshalb plausibel, weil die *mapping units* im Rahmen des GLASOD so ausgewählt wurden, daß sie in sich bzgl. natürlicher Bedingungen, der Landnutzung und der Bodenerosion relativ homogen sind.

Im nächsten Schritt werden die Informationen zu den *mapping units* länderspezifisch über Summenbildung aggregiert. Als Grundlage hierfür dient die bei o.g. *overlay* produzierte Tabelle. Um ein Maximum an Information über jedes Land verfügbar zu machen, wird die genauestmögliche Beschreibungsdimension als „Baustein“ bzw. Kategorie der Summenbildung verwendet. Das bedeutet, daß für jede mögliche Kombination aus Erosionstyp, Erosionsschwere und direkter Erosionsursache ermittelt wird, welche Fläche sie in einem Land einnimmt. So erhält man z.B. Angaben darüber, wie groß die Fläche eines Landes ist, die von extrem schwerer Wassererosion durch Abholzung betroffen ist, oder von geringer Winderosion durch Überweidung. Der Vorteil dieser detaillierten Kategorien liegt darin, daß sie im folgenden beliebig kombinierbar sind: So können z.B. für ein Land alle Teilstücke, die von Wassererosion verschiedenen Schweregrades und verschiedener Ursache betroffen sind, zur gesamten von Wassererosion betroffenen Fläche addiert werden; oder es kann die gesamte Fläche ermittelt werden, die durch Überweidung erodiert ist - unabhängig davon, ob es sich um Wasser- oder Winderosion handelt.

Die Berechnung der Größe dieser jeweiligen Flächen erfolgt über die Angaben zum Erosionsausmaß für jede *mapping unit*. Der Wertebereich der Variable zum Erosionsausmaß umfaßt fünf rangskalierte Zahlen, die für folgende Spannbreiten der Fläche einer *mapping unit* stehen: 0-5% („1“), 6-10% („2“), 11-25% („3“), 26-50% („4“) und >50% („5“). Um die Größe der erodierten Fläche annäherungsweise zu bestimmen, wird für jede Spanne der Median ermittelt und der entsprechende Prozentwert mit der Fläche der gesamten *mapping unit* multipliziert. Es wird davon ausgegangen, daß die restliche, nicht erodierte Fläche einer *mapping unit* im Sinne der GLASOD-Definition stabil ist⁵⁵. Die erodierten Teilflächen können dann für das gesamte Land addiert werden. Für die insgesamt als stabil ausgewiesenen *mapping units* sowie für diejenigen, die insgesamt als

⁵⁴ Dieser overlay wird anhand der ARCINFO-Software durchgeführt.

⁵⁵ OLDEMAN et al. beschreiben diese Restflächen als „*other terrain*“ - *non-degraded by human activities*“ (1991, S. 28).

*wastelands*⁵⁶ betrachtet werden, werden die Flächen pro Land summiert, unabhängig davon, um welche Art von *wasteland* es sich handelt, oder ob die stabilen Flächen landwirtschaftlich genutzt werden oder nicht.

Während die Berücksichtigung von zwei angegebenen Erosionstypen pro *mapping unit* kein rechentechnisches Problem darstellt, da die entsprechenden Angaben zum Erosionsausmaß immer eine Summe < 1 ergeben, ist die Berücksichtigung von zwei verschiedenen direkten Erosionsursachen pro *mapping unit* etwas aufwendiger. Hier wird angenommen, daß die beiden Erosionsursachen jeweils eine gleichgroße Fläche betreffen. Die Degradationsfläche der *mapping unit* wird dementsprechend auf die beiden Ursachen aufgeteilt, so daß rein rechnerisch zwei *mapping units* aus einer ursprünglichen entstehen.

Um auf dieser Grundlage zu einer Aussage darüber zu kommen, wie brisant Bodenerosion in einzelnen Ländern und Regionen - gerade auch in Relation zu anderen Ländern und Regionen - ist, müssen die erodierten Flächen auf eine Referenzgröße bezogen werden. In allen bekannten Publikationen, die sich auf die GLASOD-Daten beziehen und in denen meist Werte für einzelne Kontinente angegeben sind, werden die degradierten Flächen entweder absolut oder als Anteil an der gesamten Landoberfläche der Kontinente oder Subkontinente angegeben. Dieses Vorgehen entspricht im Prinzip demjenigen, das auf Ebene der *mapping units* angewendet wird. Es hat aber auf kontinentaler wie auch auf nationaler Ebene einen gravierenden Nachteil, der u.U. zu starken Verzerrungen bei der relativen Beurteilung der Bodenerosion eines Landes führen kann. So wird die Bodenerosion in Ländern oder Kontinenten, die einen großen Anteil *wastelands* an der Landoberfläche haben, tendenziell unterschätzt, während sie umgekehrt in Ländern mit wenig *wastelands* im Verhältnis dazu eher überschätzt wird.

Es ist davon auszugehen, daß die *wastelands*, also die Flächen, die aufgrund historischer oder rezenter natürlicher Prozesse vollständig degradiert sind, ohnehin von Menschen nicht mehr genutzt bzw. bewirtschaftet und also auch nicht weiter degradiert werden können. Je nach Ziel der Analyse können sie auf verschiedene Weise berücksichtigt werden. Wenn im Zentrum der Untersuchung z.B. das Ernährungspotential bestimmter Regionen und dessen Verminderung durch Degradationsprozesse jedweder Art, Zeit und Ursache stehen, so müssen die *wastelands* unzweifelhaft den degradierten Flächen zugerechnet werden. Sie sind dann den extrem degradierten Flächen gleichzusetzen. Eine andere Vorgehensweise ist jedoch erforderlich, wenn - wie hier - untersucht werden soll, in welchem Ausmaß bestimmte Länder oder Regionen durch vorwiegend rezentes menschliches Eingreifen bereits degradiert sind, in welchen Regionen dementsprechend eine Verschlimmerung der Degradation auch in Zukunft zu erwarten ist, und wo eine

⁵⁶ Flächen, die aufgrund historischer oder rezenter natürlicher Prozesse vollständig degradiert sind, werden im folgenden mit dem Begriff *wastelands* bezeichnet.

Veränderung der Eingriffe im Sinne des Bodenschutzes besonders notwendig ist. Hier muß das Ausmaß des durch den Menschen verursachten Schadens gemessen werden an dem Schaden, den er maximal anrichten kann, d.h. an der gesamten degradierbaren Fläche. Von dieser Fläche sind die *wastelands* auf jeden Fall auszunehmen, da sie durch natürliche Ereignisse bereits vollkommen degradiert wurden.

In der vorliegenden Analyse wird als Referenzfläche auf nationaler wie auf regionaler Ebene die Landesfläche (i.S.v. Landoberfläche) abzüglich der *wastelands* gewählt. So kann für jedes Land bestimmt werden, welcher Anteil der dem Menschen zur Nutzung verfügbaren Fläche bereits durch ihn degradiert wurde. Mit eingeschlossen in dieser potentiellen Nutzfläche sind auch Flächen, die (noch) nicht landwirtschaftlich und möglicherweise gar nicht von Menschen genutzt werden, wie z.B. Naturwaldflächen. Dieses Vorgehen hat zur Folge, daß in Ländern mit einem hohen Anteil *wastelands*, wie z.B. Algerien oder Ägypten⁵⁷, der erodierte Flächenanteil sich relativ erhöht. Für Algerien beträgt der Anteil erodierter Fläche gemessen als Anteil an der gesamten Landesfläche 7%, als Anteil an der Referenzfläche ohne *wastelands* aber 30%; für Ägypten steigt der Wert sogar von 1% auf 11%.

Mathematisch läßt sich die aggregierte Größe zum Stand der Bodenerosion (BE) für ein Land folgendermaßen darstellen:

$$BE^x = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^x \cdot c_i^x}{\sum_{i=1}^n a_i^x + \sum_{j=1}^m a_j^x} = \frac{\text{erodierte Fläche}}{\text{Fläche erodierte mus} + \text{Fläche stabile mus}} = \frac{\text{erodierte Fläche}}{\text{Landesfläche} - \text{wastelands}}$$

mit:

BE^x : Erosionsindex für Land x

a_i^x : Fläche der degradierten *mapping unit* i in Land x; $i = [1, ..., i, ..., n]$

c_i^x : Anteil der Fläche der *mapping unit* i, der degradiert ist

a_j^x : Fläche der stabilen *mapping unit* j in Land x; $j = [1, ..., j, ..., m]$

mus : *mapping units*

Um die in den GLASOD-Daten enthaltenen Informationen zum Schweregrad der Erosion einzelner *mapping units* zu nutzen, kann BE^x einerseits, wie oben beschrieben, für einzelne Schweregrade gesondert berechnet werden. Von besonderem Interesse ist beispielsweise der Anteil der Referenzfläche $BE^{x3,4}$, der sehr schwer bis extrem erodiert ist (Schweregrade „3“ und „4“). Andererseits wird auf Grundlage von BE^x ein Erosionsindikator BE_g^x abgeleitet, in dem alle erodierten Flächen berücksichtigt und je nach Schweregrad der Erosion gewichtet werden:

⁵⁷ Weitere Beispiele sind Libyen, Mauretanien, Niger und Saudi-Arabien.

$$BE_g^x = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^4 (a_{ik}^x \cdot c_{ik}^x \cdot g_k)}{\sum_{i=1}^n a_i^x + \sum_{j=1}^m a_j^x}$$

mit:

BE_g^x : gewichteter Erosionsindex für Land x

a_{ik}^x : Fläche der degradierten *mapping unit* i mit Degradationsgrad k in Land x;
 $i = [1, \dots, i, \dots, n]$; $k = [1, \dots, 4]$

c_{ik}^x : Anteil der Fläche der *mapping unit* i, der mit dem Schweregrad k degradiert ist

a_j^x : Fläche der stabilen *mapping unit* j in Land x; $j = [1, \dots, j, \dots, m]$

g_k : Gewichtungsfaktor für Schweregrad k der Bodenerosion; $g = [1, \dots, 4]$

Die Höhe der Wichtungsfaktoren wird entsprechend den rangskalierten Werten für den Schweregrad der Erosion gewählt.

Anhand dieser auf nationale Ebene aggregierten Größen, die hier allgemein als BE^x bzw. BE_g^x bezeichnet werden, können spezifische Erosionsindizes für das relative Ausmaß der Bodenerosion insgesamt sowie für das Ausmaß verschiedener Erosionstypen, besonders schwer erodierter Flächen und durch bestimmte direkte Ursachen erodierter Flächen im Ländervergleich definiert werden. Folgende Erosionsindizes stehen dabei im Vordergrund (Tabelle 3-3):

Tabelle 3-3: Wichtigste der auf nationales Niveau aggregierten Erosionsindizes

Index	Definition
W^x	: Anteil der Referenzfläche von Land x, der durch Wassererosion (W) degradiert ist,
E^x	: Anteil der Referenzfläche von Land x, der durch Winderosion (E) degradiert ist,
C^x	: Anteil der Referenzfläche von Land x, der durch den Verlust von Nährstoffen und organischer Substanz (C) degradiert ist,
WEC^x	: Anteil der Referenzfläche von Land x, der durch W, E und C degradiert ist,
WEC_s^x	: Nach Schweregraden gewichteter Anteil der Referenzfläche von Land x, der durch W, E und C degradiert ist und
$WEC2_4^x$ ($WEC3_4^x$)	: Anteil der Referenzfläche von Land x, der durch W, E und C des Schweregrades 2 bis 4 (3 bis 4) degradiert ist.

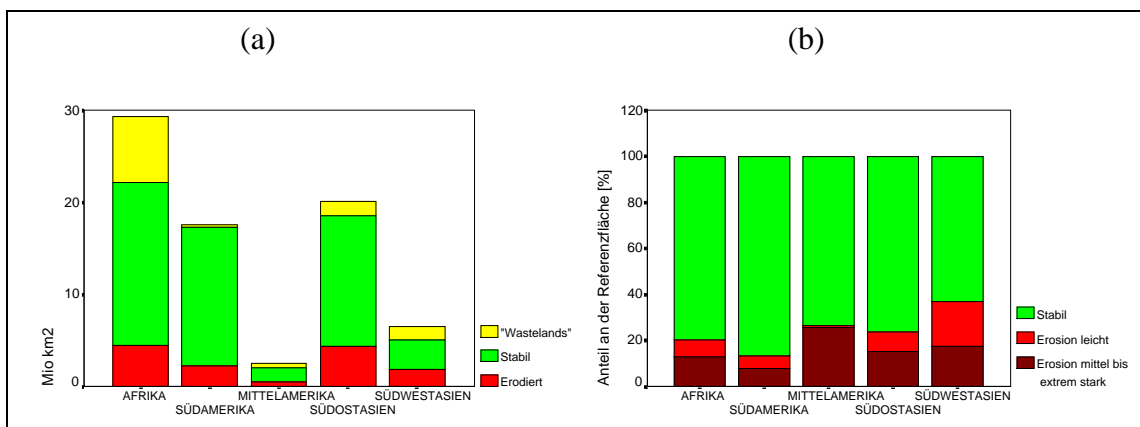
Quelle: eigene Darstellung

3.3 Problemregionen und Problemländer

3.3.1 Erosionsausmaß und -schwere

Anhand der GLASOD-Daten für einzelne *mapping units* aus 123 Entwicklungsländern kann berechnet werden, daß insgesamt 21% der gesamten Referenzfläche dieser Länder durch Bodenerosion und den Verlust von Nährstoffen und organischer Substanz (WEC) degradiert sind⁵⁸. Eine Liste der einzelnen Länder befindet sich in Tabelle A-2.1 des Anhangs 2. Weitere 1,7% der Referenzfläche sind von anderen, im folgenden nicht berücksichtigten chemischen und physikalischen Degradationsformen betroffen. An der Spitze der Subkontinente liegt Südwestasien⁵⁹ mit einer erodierten Fläche von 37%, gefolgt von Mittelamerika (26%) und Südostasien (24%). In Afrika sind 20% der Referenzfläche betroffen. Flächenmäßig am geringsten erodiert ist der südamerikanische Subkontinent mit nur 13% der Referenzfläche. In der Abbildung 3-1 sind (a) die absolute Größe [Mio. km²] und (b) der Anteil erodierter Flächen an der Referenzfläche [%] für die fünf Regionen graphisch dargestellt.

Abbildung 3-1: Absolute Größe [Mio km²] und Anteil erodierter Flächen (WEC) an der Referenzfläche [%] nach Region



Quelle: eigene Berechnungen auf Grundlage des GLASOD

Aus Abbildung 3-1 (a) wird unter anderem deutlich, daß Afrika und Südostasien mit jeweils rd. 4,5 Mio km² flächenmäßig am meisten zur Bodenerosion in Entwicklungsländern beitragen, gefolgt von Südamerika und Südwestasien. Gleichzeitig zeigt sich, daß das Weglassen der durch natürliche, historische Prozesse degradierten *wastelands* bei der Referenzgröße dazu führt, daß sich insbesondere für Afrika der Anteil der erodierten Fläche erhöht. Das bedeutet, daß der im Vergleich zu den anderen Subkontinenten eher geringe Wert von 20% erodierter Fläche im Verhältnis noch sinken würde,

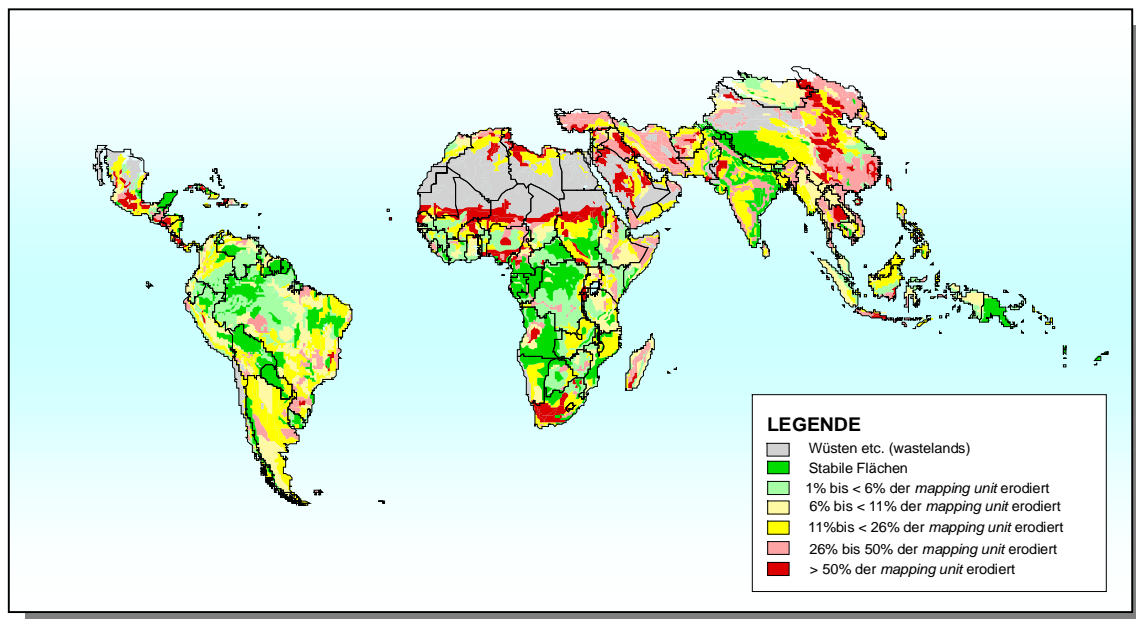
⁵⁸ Insgesamt entspricht diese Fläche etwa 78% der weltweit erodierten Fläche - der Großteil der weltweiten Bodenerosion (WEC) ist dementsprechend in Entwicklungsländern zu finden.

⁵⁹ Albanien wird hier mit eingeschlossen.

wenn man die gesamte Landesfläche als Referenzgröße verwendete. In ähnlicher Weise würde sich auch der sehr hohe Erosionsanteil für Südwestasien verringern, während die erodierten Flächenanteile für Süd- und Mittelamerika weitgehend konstant blieben. Abbildung 3-1 (b) zeigt die eingangs genannten Flächenanteile stabiler und erodierter Flächen an der zugrunde gelegten Referenzfläche. Hier sind die leicht erodierten Flächen (Schweregrad „1“) hellrot gekennzeichnet, alle stärker erodierten Flächen („2“ bis „4“) dunkelrot.

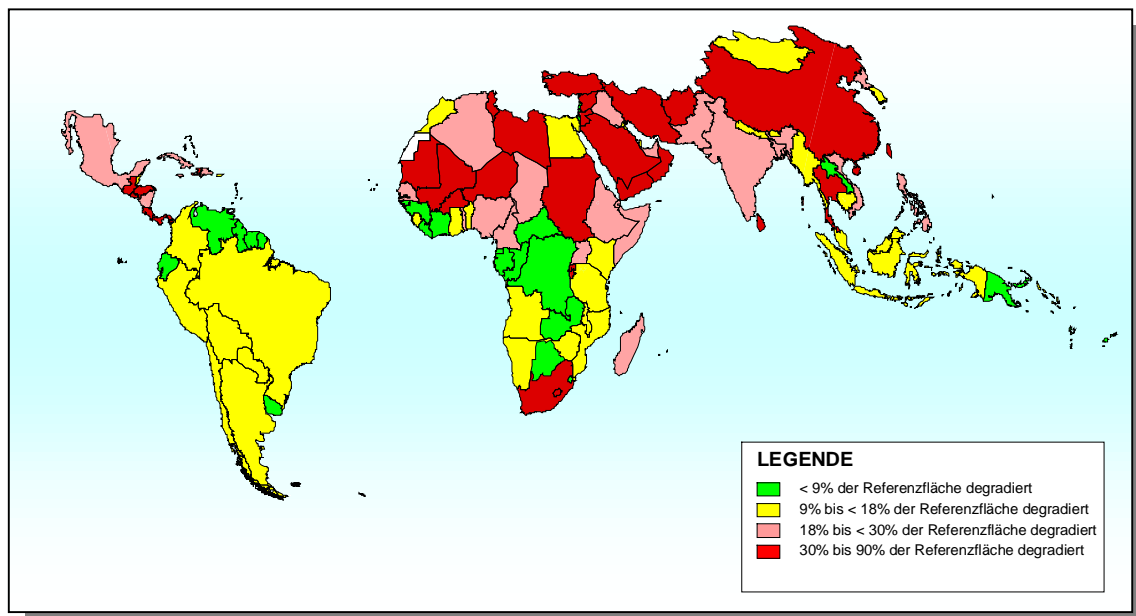
Wechselt man von der kontinentalen bzw. subkontinentalen auf die nationale Ebene und schließt die Verteilung der Erosionsindizes innerhalb einzelner Subkontinente mit in die Betrachtung ein, so stellt sich das Bild leicht verändert dar. Ein Blick auf die Länderdaten in Tabelle 3-4 und auf die Karten in den Abbildungen 3-2 und 3-3 zeigt, daß die höchsten nationalen Erosionsanteile zweifellos in Mittelamerika und in einigen afrikanischen Ländern vorliegen: El Salvador, Haiti und Costa Rica erreichen Werte zwischen 60% und 90% für den Anteil von Erosion betroffener Flächen. In weiteren drei Ländern - Honduras, Guatemala und Panama - sind mehr als 35% und bis zur Hälfte der Referenzfläche erodiert. Gleichzeitig sind diese Flächenanteile fast ausschließlich mittel bis extrem schwer erodiert. Es sei daran erinnert, daß diese Flächen entsprechend der Definition des GLASOD **mindestens** starke Produktivitätsverluste haben, daß zur Wiederherstellung der Produktivität - wenn überhaupt möglich - erhebliche Verbesserungen notwendig sind, und daß die biotischen Funktionen des Bodens mindestens teilweise zerstört sind.

In Afrika sind es vor allem die nord- und westafrikanischen Sahelländer Tunesien, Mauretanien, Libyen, Niger und Burkina Faso, im Osten die Hochlandstaaten Burundi und Rwanda sowie schließlich die Kapverdischen Inseln, die besonders stark erodiert sind. In diesen Ländern sind 40% bis 80% der jeweiligen Referenzfläche betroffen. Unter diesen Ländern haben Burundi, Rwanda und die Kapverdischen Inseln, wie die genannten mittelamerikanischen Länder, einen sehr hohen Anteil mittel bis schwer erodierter Flächen. Im Kontext aller 52 einbezogenen afrikanischen Länder sind es jedoch relativ wenige, die extrem hohe erodierte Flächenanteile aufweisen.

Abbildung 3-2: Anteil erodierter Fläche pro *mapping unit*

Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage des GLASOD

Abbildung 3-3: Anteil erodierter Fläche pro Land



Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage des GLASOD

Tabelle 3-4: Übersicht der am stärksten erodierten Länder nach Region

Bodenerosion insgesamt		davon durch ²⁾			Bodenerosion mittel bis extrem schwer ³⁾	Nach Schweregrad gewichteter Erosionsindex ⁴⁾
[% der Landesfläche ¹⁾]		Wasser	Wind	Nährstoff- verluste	[% der Landesfläche ¹⁾]	
AFRIKA						
BURUNDI	78	20	0	80	76	154
KAP VERDE	75	100	0	0	75	225
TUNESIEN	71	45	47	8	14	85
RUANDA	70	21	0	79	65	135
NIGER	65	11	89	0	35	102
MAURETANIEN	63	0	100	0	26	95
BURKINA FASO	42	85	15	0	37	107
MALI	39	13	87	0	22	63
LIBYEN	38	5	95	0	21	59
LESOTHO	35	100	0	0	35	90
SÜDAFRIKA	30	99	1	0	30	86
SUDAN	30	32	42	26	20	50
ALGERIEN	30	22	71	7	12	42
TSCHAD	30	8	88	3	9	39
MADAGASKAR	28	80	1	19	28	72
NIGERIA	27	87	4	9	25	69
SÜDAMERIKA						
FALKLAND INSELN	28	100	0	0	0	28
MITTELAMERIKA						
EL SALVADOR	90	100	0	0	90	197
HAITI	90	100	0	0	90	269
COSTA RICA	62	89	0	11	62	173
HONDURAS	46	82	0	18	46	98
GUATEMALA	41	83	0	17	41	85
PANAMA	39	93	0	7	36	99
NICARAGUA	29	54	0	46	27	57
SÜDOSTASIEN						
TAIWAN	43	100	0	0	0	43
THAILAND	37	90	0	10	37	102
SRI LANKA	33	60	0	40	19	65
CHINA	33	72	28	0	19	54
VIETNAM	27	81	0	19	25	71
KOREA (NORD)	27	100	0	0	0	27
SÜDWESTASIEN						
SAUDI-ARABIEN	53	0	100	0	12	65
JORDANIEN	39	10	90	0	17	56
TURKEI	39	94	0	6	39	95
JEMEN	38	47	50	3	12	50
SYRIEN	35	17	47	36	27	62
OMAN	35	48	52	0	17	52
IRAN	34	51	49	0	15	48
AFGHANISTAN	32	87	13	0	8	39

¹⁾ ...Landesfläche bezeichnet hier die Referenzfläche, d.h. die Landesfläche abzüglich der *wastelands*

²⁾ ...Die in einem Land dominierende(n) Erosionsart(en) ist (sind) grau unterlegt

³⁾ ...Nährstoffverluste bezeichnet hier den Verlust von Nährstoffen und organischer Substanz (C)

⁴⁾ ...Schweregrade 2 bis 4 gemäß GLASOD-Definition (WEC2_4)

⁴⁾ ...Die erodierten Flächen eines Landes werden je nach Schweregrad gewichtet (WEC_s)

Quelle: eigene Berechnungen auf Grundlage der GLASOD-Daten

Bei den südwestasiatischen Ländern fällt auf, daß Extremwerte wie in Mittelamerika und Afrika zwar nicht erreicht werden, daß aber ein Großteil der Länder mittlere bis hohe erodierte Flächenanteile hat. So sind in acht von insgesamt 14 Ländern (also in rd. 60% der Länder) zwischen 30% und maximal 52% der Referenzfläche erodiert. In Afrika sind nur knapp 30%, in Mittelamerika 31% der Länder zu über 30% erodiert. Das am großflächigsten erodierte Land ist Saudi-Arabien, hier sind 52% der Referenzfläche degradiert. Jordanien, die Türkei, der Jemen, Syrien, Oman, der Iran und Afghanistan haben erodierte Flächenanteile zwischen 30% und 40%. Nur zwei kleine Länder, der Libanon und Israel, haben Werte unter 10%. Hierdurch erklärt sich trotz der geringeren Maxima auch der im Vergleich hohe Erosionswert für den Subkontinent. In fast allen Ländern überwiegt dabei der Anteil leicht erodierter Flächen. Allein in der Türkei und in Syrien sind auch schwerere Erosionsformen von Bedeutung.

Unter den südostasiatischen Ländern ist Taiwan mit 43% der Referenzfläche am stärksten erodiert, gefolgt von Thailand (37%), Sri Lanka und China (beide 33%). Somit liegen vier von 26 Ländern, also nur 15% der Länder, über einem Wert von 30% erodierter Fläche. Die Länder mit einer Erosionsfläche von zwischen 10 und 30% sind recht zahlreich, Vietnam, Nord-Korea, Pakistan, Bangladesch und Indien liegen hier an der Spitze. In Thailand, Vietnam, Sri Lanka, China und Indien gibt es einen relativ großen Anteil von Flächen, die mittel bis schwer erodiert sind. Taiwan, das am großflächigsten erodierte Land, ist demgegenüber insgesamt nur leicht erodiert.

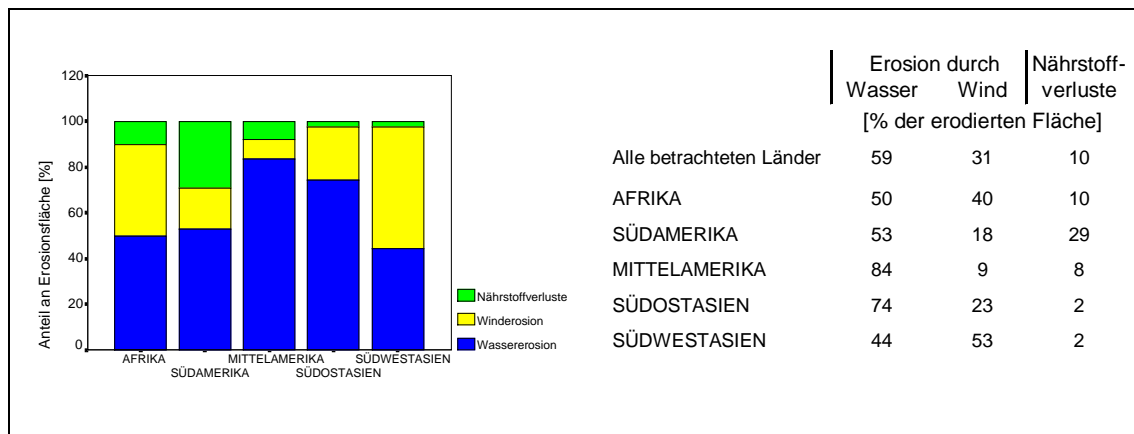
Die südamerikanischen Länder sind - auch einzeln betrachtet - erheblich moderater erodiert als die der anderen Subkontinente. Sieht man einmal von den Falkland Inseln ab, die mit einer durchgehend leicht („1“) erodierten Fläche von 28% der Referenzfläche am meisten erodiert sind, so haben überhaupt nur sechs von 13 Ländern eine Erosionsfläche, die mehr als 10% der Referenzfläche umfaßt. Dies sind, in absteigender Reihenfolge, Argentinien, Brasilien, Chile, Bolivien, Peru und Kolumbien. Auch der Anteil mittel bis schwer erodierter Flächen ist vergleichsweise sehr gering. Nur in Peru und Bolivien beträgt der entsprechende Flächenanteil knapp mehr als 10%.

3.3.2 Bedeutung einzelner Erosionstypen

Welche flächenmäßige Bedeutung den drei betrachteten Erosionstypen Wasser- und Winderosion sowie Verlust an Nährstoffen und organischer Substanz zukommt, ist aus Abbildung 3-4 ersichtlich (vgl. auch Abbildung 3-5). Für jede Region ist der Anteil jeder Erosionsform an der gesamten Erosionsfläche angegeben. Für die Gesamtheit der betrachteten Länder sowie für alle einzelnen Subkontinente bis auf Südwestasien hat Wassererosion den größten Anteil an der Erosionsfläche. In Mittelamerika und Südostasien sind sogar mehr als 70% der erodierten Fläche durch Wasser erodiert. Die Winderosion rangiert insgesamt an zweiter Stelle, wobei sie in Südwestasien und Afrika am stärksten

verbreitet ist, am geringsten ist ihr Anteil an der gesamten Erosion in den humiden Ländern Mittelamerikas. C spielt vor allem in Südamerika und teilweise auch in Afrika eine wichtige Rolle. Es ist deutlich, daß die relative Bedeutung der jeweiligen Erosionsform im Zusammenhang mit den vorherrschenden klimatischen Bedingungen zu sehen ist.

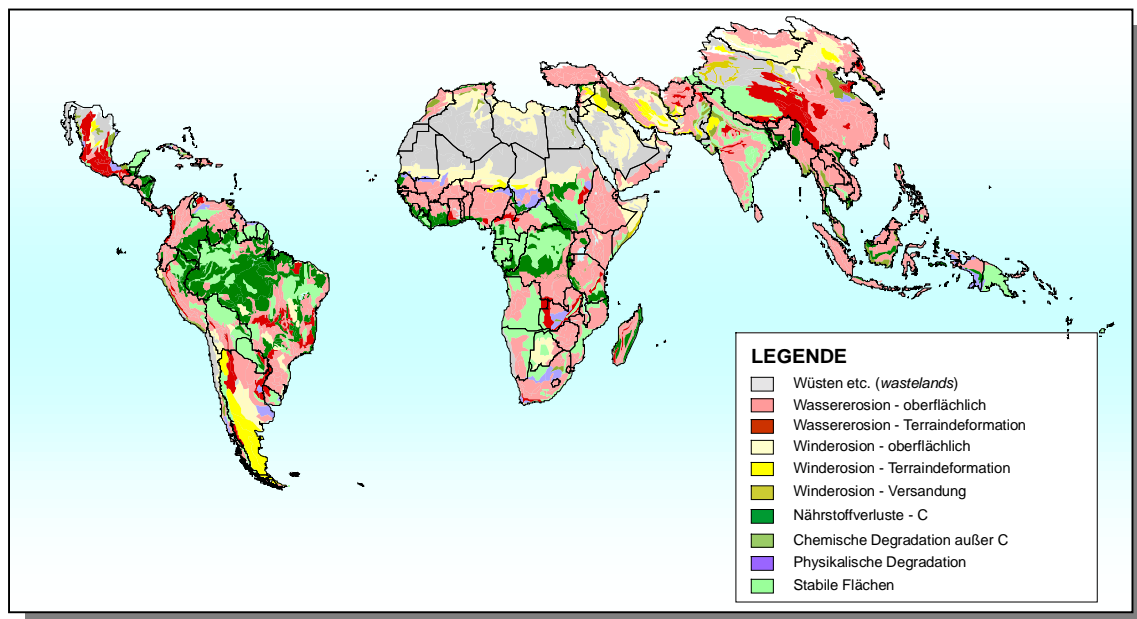
Abbildung 3-4: Anteil Wassererosion (W), Winderosion (E) und des Verlustes von Nährstoffen und organischer Substanz (C) an der gesamten Bodenerosion nach Region [% der degradierten Fläche]



Quelle: eigene Berechnungen auf Grundlage der GLASOD-Daten

Während diese allgemeine Betrachtung dazu dient, einen Überblick über den Stellenwert einzelner Erosionsformen zu vermitteln, soll darüber hinaus analysiert werden, von welchen Erosionsformen die in besonderem Ausmaß erodierten Länder betroffen sind (vgl. Tabelle 3-3). In Afrika sind Burundi und Rwanda die einzigen der in großem Ausmaß erodierten Länder, in denen Nährstoffverluste und der Verlust organischer Substanz mit einem Anteil von rd. 80% an der gesamten Erosion die größte Bedeutung haben. In den o.g. besonders erodierten westafrikanischen Sahelländern spielen Wind- und z.T. auch Wassererosion eine wichtige Rolle. In Libyen, Mali, Mauretanien und dem Niger herrscht Winderosion vor, während in Tunesien, Burkina Faso, Lesotho und auf den Kapverdischen Inseln auch Wassererosion bedeutend ist.

Die in besonderem Ausmaß erodierten Länder Mittelamerikas hingegen sind fast ausschließlich von Wassererosion betroffen. Ebenso steht in den südostasiatischen Problemländern Taiwan, Thailand, Sri Lanka, China, Vietnam und Nord-Korea Wassererosion im Vordergrund. In Sri Lanka sind allerdings auch 40% der degradierten Fläche von Nährstoffverlusten betroffen, in China fast 30% von Winderosion. In Südwestasien ist Winderosion in Saudi-Arabien, Jordanien und Afghanistan dominant; auch im Iran, im Jemen, in Oman und Syrien trägt sie etwa zur Hälfte zur Bodendegradation bei. Wassererosion ist vor allem in der Türkei die Haupterrosionsform; der Jemen, Oman und Iran sind etwa zu 50% der degradierten Fläche betroffen. C spielt nur in Syrien mit etwa einem Drittel der Degradationsfläche eine wichtige Rolle.

Abbildung 3-5: Haupterosionstyp pro *mapping unit*

Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage der GLASOD-Daten

3.3.3 Unmittelbare Erosionsursachen

Von den fünf im GLASOD prinzipiell möglichen unmittelbaren Erosionsursachen sind für die betrachteten Länder nur vier von Bedeutung: die Abholzung und Entfernung der natürlichen Vegetation, Überweidung, Landwirtschaftliches Mißmanagement i.w.S. und die Übernutzung der Vegetation für Haushaltszwecke. Die exakten Definitionen finden sich in Tabelle A-11 des Anhangs 1⁶⁰. Insgesamt betrachtet kommt der Erosion durch Abholzung und durch Überweidung die größte Bedeutung zu, jeweils rund ein Drittel der degradierten Flächen werden von den GLASOD-Experten ursächlich mit diesen beiden Formen des menschlichen Eingriffs in Verbindung gebracht. Nur bei etwa einem Fünftel der degradierten Flächen wird die Degradation dem landwirtschaftlichen Mißmanagement zugeschrieben. Um den sehr weit gefaßten Begriff des Mißmanagements zu konkretisieren, wird hier die entsprechende GLASOD-Definition wiedergegeben:

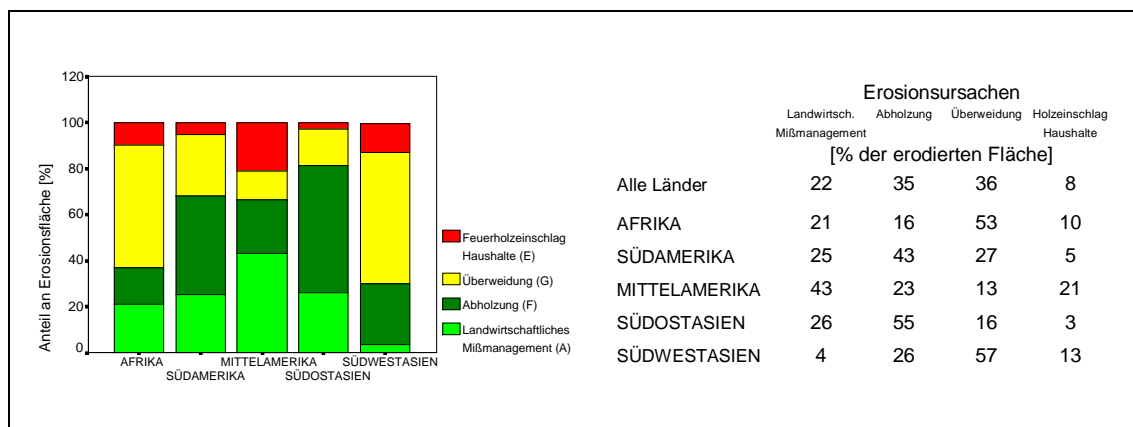
„This causative factor is defined as improper management of agricultural land. It includes a variety of practices, such as insufficient or excessive use of fertilizers, shortening of the fallow period in shifting cultivation, use of poor quality irrigation water, absence of anti-erosion measures, improperly timed use of heavy machinery, etc.“ (OLDEMAN, 1991, S. 18)

Die Übernutzung von Vegetation für Haushaltszwecke - gemeint sind vor allem der

⁶⁰ Die Degradation durch industrielle Aktivitäten wird nur bei einer einzigen *mapping unit*, die sich im Iran befindet, angegeben; hier handelt es sich um keine der betrachteten Erosionsformen.

Holzeinschlag zur Feuerholznutzung - wird auf 8% der degradierten Flächen als direkte Ursache der Erosion genannt. Häufig wird sie nicht als ausschließliche, sondern als eine von zwei maximal anzugebenden direkten Ursachen für die Erosion einer *mapping unit* angegeben. Wie unterschiedlich die relative Bedeutung dieser unmittelbaren Ursachen regional ausfällt, zeigen die Abbildungen 3-6 und 3-7.

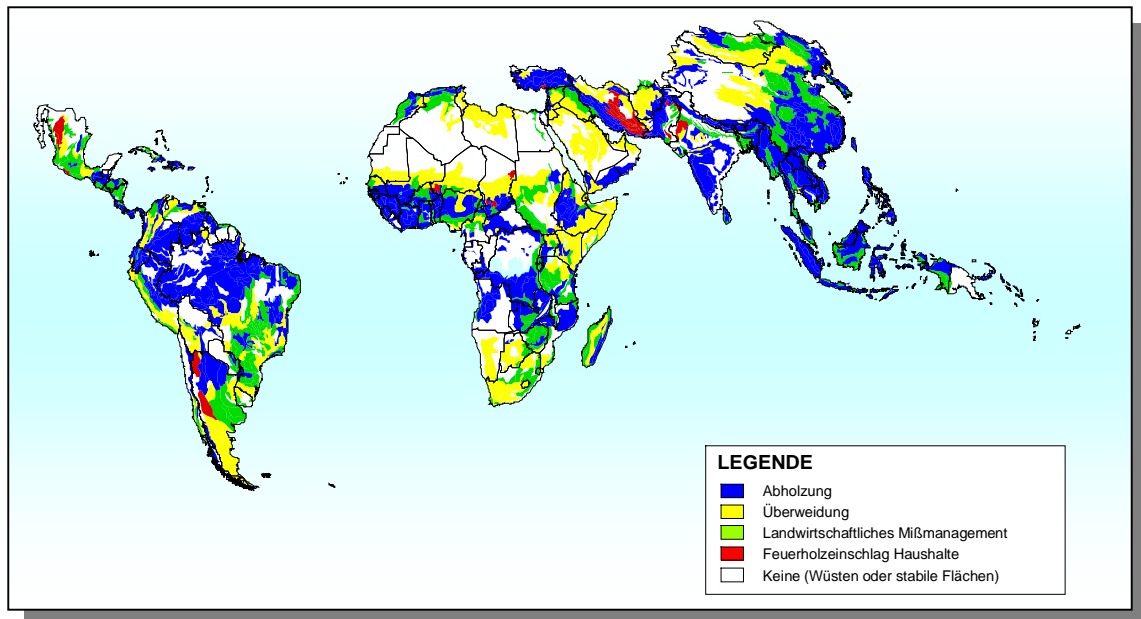
Abbildung 3-6: Bedeutung verschiedener unmittelbarer Erosionsursachen nach Region [% der degradierten Fläche]¹⁾



Quelle: eigene Berechnungen auf Grundlage der GLASOD-Daten

Während in Afrika und Südwestasien die Überweidung als häufigste Ursache überwiegt, wird in Südostasien und Südamerika die Ursache der Erosion vor allem in der Abholzung von Flächen gesehen. Nur in Mittelamerika wird als Ursache für Erosion vornehmlich landwirtschaftliches Mißmanagement angegeben. Mißmanagement trägt in drei weiteren Subkontinenten - Afrika, Südamerika und Südostasien - nur zu einem Fünftel bis einem Viertel zur Erosion bei, in Südwestasien ist es quasi bedeutungslos. Interessanterweise hat in Mittelamerika auch der Feuerholzeinschlag der Haushalte im Vergleich zu den anderen Subkontinenten einen recht großen Anteil an den Erosionsursachen.

Betrachtet man wiederum die am stärksten erodierten Länder, so fällt folgendes auf: In Afrika werden hier überdurchschnittlich oft Überweidung und landwirtschaftliches Mißmanagement als Erosionsursache angegeben, während Abholzung in den stark erodierten Ländern keine wesentliche Erosionsursache zu sein scheint. Burundi und Rwanda sind die einzigen Länder, in denen das landwirtschaftliche Mißmanagement als Ursache für die großflächige Bodenerosion im Vordergrund steht. In den anderen Ländern wird Überweidung mindestens für die Hälfte der Degradation verantwortlich gemacht, auf den Kapverdischen Inseln sowie in Niger, Mauretanien und Mali kommt der private Feuerholzeinschlag als wichtige Ursache hinzu.

Abbildung 3-7: Wichtigste unmittelbare Erosionsursache nach *mapping unit*

Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage des GLASOD

Bei den mittelamerikanischen Ländern ist im Gegensatz zu den Werten für den gesamten Subkontinent auffällig, daß in keinem der besonders von Erosion betroffenen Ländern die Feuerholzübernutzung als Grund für die Erosion genannt wird. Dies ist darauf zurückzuführen, daß in Mexiko, dem bei weitem größten Land des Subkontinents, das aber nicht zu den am stärksten erodierten zählt, Feuerholzeinschlag eine wichtige Rolle spielt. Abgesehen davon scheint in diesen Ländern, vor allem auf Haiti, in Costa Rica und Panama, der Abholzung als unmittelbarer Erosionsursache eine überdurchschnittliche Bedeutung zuzukommen. In Südostasien entspricht die relative Bedeutung der angegebenen Ursachen für die großflächig erodierten Länder in etwa der für den gesamten Subkontinent. Für Südwestasien zeigt sich, daß es unter den stark erodierten zwei Länder gibt, die von dem subkontinentalen Ursachen-Profil abweichen; so ist in Syrien das landwirtschaftliche Mißmanagement eine wichtige angenommene Ursache der Bodenerosion, im Iran wird der private Feuerholzeinschlag gar als flächenmäßig wichtigste Erosionsursache angegeben. Alle anderen Länder entsprechen in etwa dem subkontinentalen Bild.

3.3.4 Länder mit sehr schwer erodierten Flächen

Weiterhin wird untersucht, welche Länder besonders hohe Anteile schwer und extrem erodierter Flächen aufweisen. Der Grund dafür ist, daß ein qualitativer Unterschied zwischen den GLASOD-Schweregraden „1“ und „2“ auf der einen Seite und „3“ und „4“ auf der anderen Seite gesehen wird. Während der Unterschied zwischen den Grad „1“ und „2“ vor allem in der Höhe der geschätzten erosionsbedingten Produktivitätsverluste liegt und damit eher graduell von der subjektiven Einschätzung des zuständigen Experten abhängt, ist ab dem Grad „3“ das Land nicht mehr von landwirtschaftlichen Betrieben bewirtschaftbar. Das Terrain kann - wenn überhaupt (Schweregrad „3“) - nur durch erhebliche bautechnische Maßnahmen, die von einzelnen Betrieben kaum zu leisten sind, wiederhergestellt werden.

Aus der ersten Spalte von Tabelle 3-5, die alle Länder mit einem Anteil schwer bis extrem erodierter Flächen von über 5% der Referenzfläche ($WEC3_4 > 5\%$) nach Subkontinenten wiedergibt, ist zunächst ersichtlich, daß wiederum mittelamerikanische und afrikanische Länder z.T. exorbitant große Flächen haben, die auf Betriebsebene sozusagen verloren sind.

In Haiti (rd. 90%), Costa Rica (rd. 50%) und auf den Kapverdischen Inseln (75%) finden sich die mit Abstand höchsten erodierten Flächenanteile. Als Länder mit Werten über 20% der Referenzfläche sind weiterhin Panama, Burkina Faso, Südafrika, Lesotho und von den asiatischen Ländern Thailand und Vietnam zu nennen. Werte von immerhin mehr als 10% der Referenzfläche haben El Salvador und Mexiko, die Türkei und Sri Lanka sowie Nigeria, Madagaskar, der Senegal, Kamerun und Äthiopien. Die genannten Länder sind hinsichtlich der Bodenerosion ausnahmslos als Problemländer zu betrachten, da erosionsbedingte, anthropogene Flächenverluste von über 10% für keines der Länder tolerabel sein dürften.

Fast ausnahmslos sind diese schwer erodierten Flächen durch Wasser erodiert. Die beiden Ausnahmen sind Madagaskar und der Senegal, wo 25% bzw. 100% der schwer erodierten Flächen durch C degradiert sind. Die direkten Ursachen für diese schweren Formen der Bodenerosion sind wiederum kontinentspezifisch. In Afrika werden die erosiven anthropogenen Eingriffe vor allem in der Überweidung und im landwirtschaftlichen Mißmanagement gesehen. Der Abholzung kommt als Ursache für den Verlust von Flächen durch Erosion nur in Angola und Äthiopien, z.T. auch in Madagaskar gewisse Relevanz zu. In Asien - hier sind bis auf die Türkei ausschließlich südostasiatische Länder sehr schwer erodiert - werden die schwer erodierten Flächen eindeutig und fast ausschließlich mit der Abholzung von Wald- und anderen mit natürlicher Vegetation bewachsenen Flächen ursächlich in Verbindung gebracht. Ebenso sind in Mittelamerika die Länder, die besonders hohe Anteile schwer erodierter Flächen haben, unzweifelhaft von Degradation durch Abholzung betroffen, nur in Panama wird auch die Überweidung als Ursache genannt. In

den Ländern mit einem geringeren schwer degradierten Flächenanteil - El Salvador, Mexiko, Honduras - wird im landwirtschaftlichen Mißmanagement die Hauptursache der schweren Wassererosion gesehen. In Mexiko wird darüber hinaus auf 40% der schwer erodierten Flächen der private Feuerholzeinschlag als Erosionsursache angegeben.

Tabelle 3-5: Länder mit hohem Anteil schwer bis extrem erodierter Flächen nach Region

Bodenerosion stark bis extrem schwer ¹⁾		davon durch Wasser- erosion		Unmittelbare Ursachen ³⁾			
[% der Landesfläche ²⁾]		[% der stark bis extrem erodierten Fläche]		Landwirtsch. Mißmanagement	Abholzung	Überweidung	Holzeinschlag Haushalte
				"a"	"f"	"g"	"e"
				[% der stark bis extrem erodierten Fläche]			
AFRIKA							
KAP VERDE	75	100				100	
BURKINA FASO	28	100	80			20	
SÜDAFRIKA	26	100	10			90	
LESOTHO	20	100				100	
NIGERIA	17	100	50			20	30
MADAGASKAR	15	75	30	20		50	
SENEGAL	15	0	100				
KAMERUN	12	100	80				20
ÄTHIOPIEN	11	100	30	40		30	
UGANDA	8	100				100	
TOGO	7	100	90			10	
ANGOLA	6	100			100		
ASIEN							
THAILAND	28	100			100		
VIETNAM	19	100	10		90		
TÜRKEI	17	100			100		
SRI LANKA	13	100			100		
PHILIPPINEN	9	100	10		90		
KAMBODSCHA	9	100			100		
MITTELAMERIKA							
HAITI	89	100			100		
COSTA RICA	49	100			100		
PANAMA	25	100			80	20	
EL SALVADOR	17	100	100				
MEXIKO	11	100	50			10	40
HONDURAS	6	100	100				

¹⁾ ...Entsprechend den GLASOD-Schweregraden schwer (3) bis extrem (4) degradiert (WEC3_4)

²⁾ ...Landesfläche bezeichnet hier die Referenzfläche, d.h. die Landesfläche abzüglich der *wastelands*

³⁾ ...Entsprechend den im GLASOD definierten unmittelbaren Erosionsursachen (a, g, f, e)

.....Die in einem Land dominierende(n) unmittelbare(n) Erosionsursache(n) ist (sind) grau unterlegt

Quelle: eigene Berechnungen auf Grundlage der GLASOD-Daten

3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

- Während Afrika und Südostasien flächenmäßig mit jeweils rd. 4,5 Mio km² am meisten zur Bodenerosion in Entwicklungsländern beitragen, sind in Südwestasien (37%), Mittelamerika (26%) und Südostasien (24%) die Anteile der erodierten Flächen an der jeweiligen subkontinentalen Referenzfläche am höchsten.
- Die höchsten nationalen Erosionsanteile liegen in Mittelamerika und in einigen afrikanischen Ländern vor. El Salvador, Haiti und Costa Rica erreichen Werte zwischen 60% und 90% für den Anteil von Erosion betroffener Flächen. In Afrika sind es vor allem die nord- und westafrikanischen Sahelländer Tunesien, Mauretanien, Libyen, Niger, Burkina Faso und Mali, im Osten die Hochlandstaaten Burundi und Rwanda sowie schließlich die Kapverdischen Inseln, die besonders stark erodiert sind. In diesen Ländern sind rd. 40% bis 80% der jeweiligen Referenzfläche betroffen. Bei den südwestasiatischen Ländern fällt auf, daß Extremwerte wie in Mittelamerika und Afrika zwar nicht vorkommen, daß aber ein Großteil der Länder relativ hohe erodierte Flächenanteile (>30%) hat. Unter den südostasiatischen Ländern ist Taiwan mit 43% der Referenzfläche flächenmäßig am stärksten erodiert, gefolgt von Thailand (37%), Sri Lanka und China (beide 33%). Die südamerikanischen Länder sind - auch einzeln betrachtet - erheblich moderater erodiert als die der anderen Subkontinente.
- Wassererosion hat den größten Anteil an der Erosionsfläche, in Mittelamerika und Südostasien sind sogar mehr als 70% der erodierten Fläche von Wassererosion betroffen. Die relative Bedeutung einzelner Erosionsformen ist vor allem auch in Zusammenhang mit den vorherrschenden klimatischen Bedingungen zu sehen.
- Insgesamt betrachtet kommt der Erosion durch Abholzung und durch Überweidung die größte Bedeutung zu. Während in Südwestasien die Überweidung von Flächen als Ursache überwiegt, haben in Afrika neben der Überweidung auch die anderen Ursachen Bedeutung. In Südostasien und Südamerika wird die Ursache der Erosion vor allem in der Abholzung gesehen. Zwar wird für Mittelamerika insgesamt als am stärksten verbreitete Ursache für Erosion das landwirtschaftliche Mißmanagement angegeben, in den besonders stark erodierten Ländern steht aber eindeutig die Abholzung im Vordergrund.
- Länder mit z.T. exorbitant hohen Anteilen schwer bis extrem schwer erodierter Flächen sind wiederum vor allem in Mittelamerika und Afrika zu finden. Hier sind Haiti (rd. 90% der Referenzfläche), Costa Rica (rd. 50%) und die Kapverdischen Inseln (75%) an erster Stelle zu nennen. Werte von immerhin über 20% der Referenzfläche haben weiterhin Panama, Burkina Faso, Südafrika, Lesotho und von den asiatischen Ländern Thailand und Vietnam. Fast ausnahmslos sind diese schwer betroffenen Flächen durch Wasser erodiert. In Afrika werden die erosiven anthropogenen Eingriffe vor allem in der Überweidung und im landwirtschaftlichen Mißmanagement gesehen. In Südostasien werden sie fast ausschließlich mit der Abholzung ursächlich in

Verbindung gebracht. Ebenso sind in Mittelamerika die Länder, die besonders hohe Anteile schwer erodierter Flächen haben, vor allem von Abholzung betroffen. In den Ländern mit einem geringeren schwer degradierten Flächenanteil wird im landwirtschaftlichen Mißmanagement die Hauptursache der schweren Wassererosion gesehen. In Mexiko wird darüber hinaus auf 40% der schwer erodierten Flächen der private Feuerholzeinschlag als Erosionsauslöser angegeben.

Auch wenn kritische Einwände, die sich im wesentlichen auf den großen Maßstab des GLASOD und auf subjektive Ermessensspielräume des *expert sysem approach* beziehen teilweise berechtigt sind (vgl. MORGAN, 1996; CROSSON, 1992 und 1996), sind diese ersten Informationen zu Ausmaß und Schwere der Bodenerosion in Entwicklungsländern sehr ernst zu nehmen⁶¹. Angesichts der geschilderten Dimension des Problems ist - auch ohne detaillierte ökonomische Bewertung - unzweifelhaft, daß Bodenerosionsprozesse in den betrachteten Ländern insgesamt und insbesondere in den identifizierten Problemländern bereits gegen Ende der 80er Jahre zu einer wesentlichen Beeinträchtigung des Produktionspotentials der landwirtschaftlichen Nutzflächen geführt haben. Vor dem Hintergrund der schlechten Ernährungslage großer Teile der Bevölkerung bei gleichzeitig hohen Bevölkerungswachstumsraten - vor allem in Afrika -, der Abhängigkeit vieler Entwicklungsländer vom Export landwirtschaftlicher Produkte und der oft mangelnden Einkommensalternativen für die ländliche Bevölkerung ist die Situation insgesamt als sehr ernst zu beurteilen.

⁶¹ SOMBROEK gibt folgende generelle Einschätzung des GLASOD: „...on the basis of admittedly incomplete knowledge, a credible global assessment of human-induced soil degradation.“ (SOMBROEK, 1997, S. 10)

EMPIRISCHE ANALYSE

4 Methodisches Vorgehen und Datengrundlage

Dieses Kapitel dient der Herleitung und Darstellung des methodischen Vorgehens der durchzuführenden empirischen Analyse und der Datengrundlage für anthropogene und natürliche Erosionsdeterminanten.

Um die Wahl des für die Analyse gewählten spezifischen methodischen Ansatzes nachvollziehbar zu machen, werden zunächst die Besonderheiten diskutiert, die vor dem Hintergrund der Fragestellung bei der statistischen Vorgehensweise und auch bei der Variablendefinition beachtet werden müssen (4.1). Dabei stehen Implikationen struktureller Charakteristika, wie mögliche Abhängigkeiten unter den Erosionsdeterminanten und reziproke Wirkungen zwischen Bodenerosion und anthropogenen Rahmenbedingungen, sowie Datenrestriktionen im Vordergrund. Aus diesen Besonderheiten ergeben sich konkrete Anforderungen sowohl an die in der Analyse anzuwendenden statistischen Verfahren als auch an die Definition geeigneter Indikatorvariablen für anthropogene und natürliche Erosionsdeterminanten.

Ausgehend von diesen Anforderungen wird das für die empirische Analyse gewählte methodische Vorgehen erläutert (4.2). Dabei werden die Vorteile einer methodischen Verknüpfung strukturenentdeckender, explorativer Verfahren (Korrelationsanalyse, Faktorenanalyse) und strukturenprüfender Verfahren (Regressionsanalyse) für die Bearbeitung der Fragestellung hervorgehoben.

Anschließend werden die Datengrundlage für Bodenerosion, die sich aus den in Kapitel 3 definierten Erosionsindizes ergibt, sowie die Datengrundlage für Erosionsdeterminanten aus dem Bereich anthropogener Rahmenbedingungen, der Landnutzung und natürlicher Bedingungen vorgestellt (4.3). Im Zusammenhang hiermit werden die Kriterien, die bei der Auswahl und Operationalisierung einzelner Variablen im Vordergrund stehen, angesprochen. Einzelheiten zur Berechnung spezieller Indikatorvariablen finden sich im Anhang 3.

Da davon auszugehen ist, daß es neben allgemeinen anthropogenen Erosionsursachen auch solche gibt, die für einzelne Klimazonen spezifisch sind, werden die untersuchten Länder im vierten Abschnitt nach den jeweils vorherrschenden agroklimatischen Bedingungen anhand einer Clusteranalyse gruppiert (4.4). Dies ist die Basis für eine nach Klimazonen differenzierte Untersuchung in der empirischen Analyse.

4.1 Implikationen der Fragestellung und der Datenverfügbarkeit für das methodische Vorgehen und die Variablendefinition

4.1.1 Strukturelle Charakteristika: Abhängigkeiten unter möglichen Erosionsdeterminanten und reziproke Wirkungen

Abhängigkeiten unter möglichen Erosionsdeterminanten

Von vielen in der Literatur diskutierten Determinanten der Bodenerosion wird angenommen, daß sie auch untereinander in Zusammenhang stehen. Betrachtet man ausschließlich die anthropogenen Rahmenbedingungen, so wird beispielsweise häufig eine sich gegenseitig verstärkende Wirkung zwischen Armut und Bevölkerungsdruck angenommen; andere Autoren vermuten hingegen, daß Bevölkerungsdruck und die Entwicklung von Innovationen, die langfristig zu Wohlstandswachstum führen, zusammenhängen. Weiterhin wirken makroökonomische und sektorale Politikmaßnahmen, insbesondere Preispolitiken, direkt und indirekt auf die Einkommenssituation der Landnutzer und damit auf den Grad ihrer Armut. Zahlreiche weitere Beispiele für mögliche Zusammenhänge lassen sich finden (vgl. Kapitel 2).

Bezieht man neben den genannten anthropogenen Rahmenbedingungen noch landnutzerische und natürliche Bedingungen in die Überlegungen mit ein, so ergibt sich eine Vielzahl weiterer Zusammenhänge: So ist anzunehmen, daß die Art der Landnutzung sowie teilweise auch anthropogene Rahmenbedingungen, z.B. die Bevölkerungsdichte, mit bestimmt werden von den vorherrschenden natürlichen Bedingungen. Ebenso kann von Zusammenhängen zwischen anthropogenen Rahmenbedingungen und der Art und Intensität der Landnutzung ausgegangen werden, und davon, daß die Art der Landnutzung wiederum Auswirkungen auf die ökonomische Situation der Landnutzer hat.

Einzelheiten über die Art und Richtung der skizzierten Zusammenhänge sind, ähnlich wie bei den Zusammenhängen zwischen Bodenerosion und ihren Determinanten, weitgehend unerforscht. Ein theoretisches Gesamtbild, das als Grundlage für die Erfassung der komplexen Zusammenhänge in Form von Strukturmodellen dienen könnte, liegt derzeit nicht vor.

Bei der Anwendung ökonometrischer, strukturenprüfender Methoden (Regressionsanalyse) haben tatsächliche Zusammenhänge unter möglichen Erosionsdeterminanten zur Folge, daß Multikollinearitätsprobleme zu erwarten sind, die zu Fehlern bei der Schätzung der Regressionskoeffizienten und zu Schwierigkeiten bei der Interpretation der Regressionsergebnisse führen können (Vgl. MONTGOMERY und PECK, 1992, S. 308 ff.). Gerade weil neben anthropogenen Rahmenbedingungen auch landnutzerische und natürliche Bedingungen mit in die empirische Analyse einbezogen werden sollen, ist mit starker Multikollinearität zu rechnen. Dies muß bei der Wahl der Analysemethoden berücksichtigt werden.

Reziproke Wirkungen zwischen Bodenerosion und ihren Determinanten

Es ist anzunehmen, daß Bodenerosion sich langfristig auch auf einige der untersuchten Determinanten auswirkt. Verstärkte Bodenerosion führt beispielsweise über eine Verminderung der Bodenproduktivität zu einer veränderten sozioökonomischen Situation der Landnutzer. Ebenso zählen mögliche landnutzerische oder auch die Anzahl Nachkommen betreffende Reaktionen der Landnutzer auf die durch Bodenerosion veränderten Bedingungen zu diesen Wechselwirkungen. Grundsätzlich vorstellbar sind auch Reaktionen der Politik auf verstärkte Bodenerosion – z.B. in Form von Erosionsschutzprogrammen –, die dann direkt oder auch über veränderte Rahmenbedingungen wiederum auf Bodenerosion wirken⁶².

Da mit dem GLASOD die erste globale Erhebung zum Stand der Bodendegradation durchgeführt wurde, ist die Berücksichtigung möglicher Wirkungen von Bodenerosion auf die anthropogenen Rahmenbedingungen und auf die Landnutzung in der empirischen Analyse derzeit nicht direkt möglich. Für die empirische Analyse resultieren hieraus folgende Fragen: Wie wahrscheinlich und wie relevant sind die jeweiligen Wirkungen? Welche Verzerrungen ergeben sich dadurch, daß diese Wirkungen nicht erfaßt werden können? Diese Fragen werden im folgenden anhand theoretischer Überlegungen besprochen.

Geht man davon aus, daß der Großteil der anthropogenen Erosionsprozesse, die im GLASOD erfaßt sind, in der jüngeren Vergangenheit stattgefunden haben – CROSSON z.B. meint, daß in etwa der Zeitraum 1945-1990 der relevanteste ist (CROSSON, 1996, S. 3) –, und wird dieser Zeitraum der empirischen Analyse zugrundegelegt, dann ist die Fristigkeit der angesprochenen Effekte ausschlaggebend: Nur diejenigen Wirkungen der Bodenerosion auf die Situation und die Reaktion der Landnutzer und Politiker können die empirische Analyse verzerren, die innerhalb des Betrachtungszeitraumes auftreten.

Wirkungen der Bodenerosion auf Armut und Bevölkerungsdruck

In der theoretischen Diskussion wird als wichtiger Effekt der Bodenerosion die zunehmende Armut der Landnutzer durch den erosionsbedingten Produktivitätsverlust der Ressource Boden hervorgehoben. Verstärkte Armut wiederum wird mit erhöhter Kinderanzahl (bzw. aggregiert: Bevölkerungswachstumsraten) und mit stärkerer Bodenerosion in Verbindung gebracht (vgl. die „Teufelskreis“-Diskussion). Während bei den Wirkungen von Bodenerosion auf die Bevölkerungswachstumsraten *qua* zunehmende Armut mit großer Wahrscheinlichkeit davon auszugehen ist, daß sie erst sehr langfristig zum Tragen kommen (vgl. LIPTON, 1997, S. 86 f.), läßt sich dies für die Armutseffekte selbst nur begrenzt sagen. Zwar gilt allgemein, daß Bodenerosion sich schleichend und

⁶² Langfristig verändern sich erosionsbedingt auch die Bodeneigenschaften bzw. die Erodibilität des Bodens.

erst nach längerer Zeit in spürbaren Produktivitätsverlusten manifestiert, was häufig ihre rechtzeitige Eindämmung verhindert⁶³. Auf tropischen Verwitterungsböden allerdings machen sich erosionsbedingte Produktivitätsverluste wesentlich schneller bemerkbar als auf Böden der gemäßigten Klimazonen⁶⁴. Im Grunde sind die GLASOD-Daten selbst ein Indiz dafür, inwieweit Erosionsprozesse die Produktivität der Böden, die Erträge und damit die ökonomische Situation der betroffenen Landnutzer gegen Ende der 80er Jahre bereits beeinträchtigt hatten, da der Schweregrad der Bodenerosion u.a. direkt am geschätzten Produktivitätsrückgang des Bodens bemessen wird (vgl. Kapitel 3, S. 56)⁶⁵.

Insofern kann davon ausgegangen werden, daß wenn sich in der empirischen Analyse ein Einfluß von Armut oder verstärkter Armut auf Erosion tatsächlich nachweisen läßt, deren geschätzte relative Bedeutung für das Zustandekommen von Bodenerosion wegen der geschilderten, nicht erfaßten Wechselwirkungen tendenziell verzerrt sein wird. Gleichzeitig ist es möglich, daß das Bestimmtheitsmaß der gesamten Schätzung dadurch erhöht wird, daß die kumulative Bodenerosion, die sich definitionsgemäß aus jährlichen Erosionsraten ergibt, indirekt geschätzt wird anhand der sich aus ebendiesen jährlichen Erosionsraten vergangener Jahre ergebenden⁶⁶ Armutsindikatoren vergangener Jahre.

Eine Möglichkeit, diesen Schätzfehler zu reduzieren, besteht z.B. darin, auch Indikatoren in die Analyse einzubeziehen, die die ökonomische Situation der Landnutzer zu Beginn des Betrachtungszeitraumes oder über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg kennzeichnen (Durchschnittswerte). So verliert die durch Bodenerosion im Betrachtungszeitraum verursachte, zu einem späteren Zeitpunkt auftretende zusätzliche Armut im Indikator an Gewicht.

Bodenerosion als Impetus für die Entwicklung von Bodenschutzmaßnahmen

Eine weitere mögliche Wirkung, die vor allem im Rahmen der Theorie der Induzierten Innovation diskutiert wird, ist, daß Bodenerosion einen Impetus für die Entwicklung und Einführung bodenschonenden technischen und anderen Fortschritts geben kann – ähnlich wie z.B. verstärkter Bevölkerungsdruck oder Hungersnöte. Daß Landnutzer in Entwicklungsländern auf Erosionsschäden in gewissem Maße mit Erosionsschutzmaß-

⁶³ Umgekehrt wird als Argument für die mangelnde Bereitschaft von Landnutzern, Erosionsschutzmaßnahmen einzuführen, oft die geraume zeitliche Verzögerung genannt, mit der der Nutzen dieser Maßnahmen manifest wird (vgl. THAMPAPILLAI und ANDERSON, 1994, S. 297).

⁶⁴ Verwitterungsböden enthalten meist relativ weniger Nährstoffe, und diese konzentrieren sich überwiegend in der obersten Bodenschicht.

⁶⁵ In den Richtlinien des GLASOD ist allerdings nicht eindeutig festgelegt, welches der zugrundegelegte Zeitpunkt für den Ausgangszustand bzw. die Ausgangsproduktivität der Böden ist, im Verhältnis zu dem dieser Produktivitätsrückgang eingeschätzt wird.

⁶⁶ Da bei Annahme der beschriebenen reziproken Wirkungen Armut eine Funktion der Bodenerosion wäre.

nahmen reagiert haben, ist evident⁶⁷. Dieser Tatsache wird vom GLASOD insofern Rechnung getragen, als es eine Kategorie zur Beurteilung der stabilen *mapping units* gibt, die Erosionsschutzmaßnahmen eigens erfaßt: *terrain stabilized by human intervention* (vgl. OLDEMAN et al., 1991, S. 14). Schätzfehler können hier also dadurch weitgehend vermieden werden, daß Bodenerosion, die von den betroffenen Landnutzern im Referenzzeitraum bemerkt und konterkarriert wurde, im GLASOD nicht als erodierte, sondern als stabilisierte Fläche aufgenommen wird.

Wirkungen der Bodenerosion auf Politikebene

Zu den politischen Reaktionen auf Erosionsprobleme läßt sich sagen, daß nationale Bodenschutzpolitiken und -programme in den meisten Entwicklungsländern - wenn überhaupt - erst in den vergangenen 10 bis 20 Jahren formuliert und durchgeführt wurden. Einerseits sind derartige Bodenschutzpolitiken nicht direkt Gegenstand der Untersuchung, im Vordergrund stehen vielmehr die in Kapitel 3 dargestellten Agrarpreispolitiken. Da bei letzteren davon ausgegangen werden kann, daß sie in den vergangenen Jahrzehnten nicht wesentlich vom Stand der Bodenerosion beeinflußt worden sind, sind hier keine Verzerrungen zu erwarten.

Reziproke Wirkungen früherer Perioden

Obwohl die GLASOD-Erhebung im wesentlichen auf anthropogene Erosionsprozesse der jüngeren Vergangenheit fokussiert, wird jedoch grundsätzlich auch Bodenerosion aus weiter zurückliegenden Zeiten mit erfaßt⁶⁸. OLDEMAN argumentiert:

„In many parts of the world, soil degradation occurred at various times in the past, and subsequently the land surface has come to equilibrium with the causative factors.“
(OLDEMAN, 1988, S.3)

Abstrahierend könnte man aus dieser Argumentation die Annahme ableiten, daß zu Beginn des Betrachtungszeitraumes der empirischen Analyse global eine solche Gleichgewichts-Situation vorlag. In diesem Fall wären keine verzerrenden Einflüsse früherer anthropogener Reaktionen auf Bodenerosion bei der empirischen Analyse zu erwarten. Da diese Annahme aber recht unrealistisch ist, kann es tatsächlich zu Über- bzw. Unterschätzung des Einflusses einzelner Determinanten der Bodenerosion kommen. Ein Beispiel: In einer Region mit starkem Bevölkerungsdruck zu Beginn dieses Jahrhunderts manifestieren sich in den 30er Jahren Ernterückgänge, die auf extreme, irreversible Ero-

⁶⁷ Ein georeferenzierter Katalog derartiger Maßnahmen wird z.B. im Rahmen des WOCAT-Projektes derzeit für Afrika erstellt (vgl. CENTRE FOR DEVELOPMENT AND ENVIRONMENT, 1996).

⁶⁸ OLDEMAN selbst unterscheidet drei historische Phasen: (1) Erosion in frühen Zivilisationen (bis ca. 1750); (2) die Ära der europäischen Expansion nach Amerika, Australien, Asien und Afrika (1750 bis 1945 und (3) die Nachkriegszeit, die vor allem in Entwicklungsländern von starkem Bevölkerungswachstum gekennzeichnet ist (OLDEMAN, 1988, S. 3).

sionsschäden zurückzuführen sind⁶⁹. Die Bevölkerung wandert aus der Region von dieser Zeit an kontinuierlich ab, weil die Ernährungsgrundlage nicht mehr ausreicht. Da die Erosionsschäden irreversibel sind, ist die Region auch zur Zeit der GLASOD-Erhebung noch extrem erodiert. In der empirischen Analyse wird nun z.B. der Einfluß der Bevölkerungsentwicklung von ca. 1945 bis 1990 auf den Stand der Bodenerosion 1990 untersucht. Die Daten würden in diesem Fall einen Zusammenhang zwischen abnehmendem Bevölkerungsdruck und starker Bodenerosion vortäuschen.

Eine Möglichkeit, derartige Verzerrungen in der empirischen Analyse zu vermindern, liegt in der Definition der Indikatorvariablen. So sollen auch Variablen berücksichtigt werden, die eine längerfristige Entwicklung der anthropogenen Bedingungen wiedergeben. Würde man für das genannte Beispiel die durchschnittliche Bevölkerungsdichte über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg als Indikator für den langfristigen, strukturellen Bevölkerungsdruck wählen, so würde sich möglicherweise eher zeigen, daß dieser Druck im Vergleich zu anderen Regionen trotz seiner Abnahme im Betrachtungszeitraum relativ hoch ist. Noch geeigneter wären im Fall des Bevölkerungsdrucks Variablen, die anzeigen, ob der strukturelle Bevölkerungsdruck im Verhältnis zur Tragfähigkeit der Region eher hoch ist oder nicht.

Insgesamt gesehen kann wegen des Bezugs der GLASOD-Daten zur jüngeren Vergangenheit und der Langfristigkeit anthropogener Reaktionen auf Erosionsprozesse davon ausgegangen werden, daß Verzerrungen durch unberücksichtigte Wechselwirkungen wenn dann nur bei Armutsindikatoren zu erwarten sind. Hinsichtlich historischer Erosionsprozesse und der entsprechenden Reaktionen der Landnutzer kann versucht werden, den Einfluß weiter zurückliegender Entwicklungen über die Einbeziehung geeigneter Indikatoren in die empirische Analyse mit zu berücksichtigen. Insofern können anhand der empirischen Analyse Erosionsdeterminanten identifiziert werden, die für den zugrundegelegten Betrachtungszeitraum relevant sind; die Bedeutung dieser Determinanten für künftige Entwicklungen, bei denen auch langfristige Reaktionen der Landnutzer und Politiker auf Bodenerosion zum Tragen kommen, kann hingegen nicht prognostiziert werden.

4.1.2 Datenrestriktionen: Zeitliche Eingrenzung und Aggregationsniveau

Zeitliche Eingrenzung

Während die GLASOD-Daten zeitpunktbezogen sind und nur für einen einzigen Erhebungszeitpunkt (ca. 1990) vorliegen, liegen internationale Datensammlungen für sozioökonomische und demographische Indikatoren sowie für die Landnutzung in Form von Zeitreihen frühestens ab dem Jahr 1961 – je nach Datensammlung – oder ebenfalls

⁶⁹ In der GLASOD-Terminologie bedeutet das: „*The terrain is unreclaimable and impossible to restore. Original biotic functions are fully destroyed.*“ (OLDEMAN et al., 1991, S. 15).

als zeitpunktbezogene Informationen vor. Für die empirische Analyse wird deshalb der Referenzzeitraum 1961 bis 1990 gewählt. Insofern kann in der empirischen Analyse nur der Einfluß untersucht werden, den die Ausprägung oder die Veränderung der untersuchten Determinanten in diesem Zeitraum auf den Stand der Bodenerosion Ende der 80er Jahre hatten. Damit ist ein großer Teil des im GLASOD zugrundegelegten Referenzzeitraumes abgedeckt (30 von etwa 45 Jahren).

Um anthropogene Bedingungen auch früherer Jahre annähernd zu erfassen, müssen bei der Definition von Indikatorvariablen für Erosionsdeterminanten neben Variablen, die die Veränderung der Determinanten im Referenzzeitraum erfassen, auch solche Variablen in die Analyse einbezogen werden, die eine eher langfristige⁷⁰ Entwicklung oder „Struktur“ der anthropogenen Bedingungen in den untersuchten Einheiten wiedergeben. Ebenso wie bei der Diskussion reziproker Wirkungen im vorhergehenden Abschnitt kann angenommen werden, daß Durchschnittswerte anthropogener Bedingungen über den gesamten Betrachtungszeitraum 1960 bis 1990 eher langfristige Tendenzen ausdrücken, die auch für die Jahre vor 1961 Gültigkeit haben.

Aggregationsniveau

Die Wahl des nationalen Aggregationsniveaus für die empirische Analyse ist im wesentlichen durch Datenrestriktionen auf der Seite der landnutzerischen und sozioökonomischen Variablen bestimmt. Die Möglichkeiten einer georeferenzierten Analyse und die Entscheidung für das nationale Aggregationsniveau unter Hinnahme von Informationsverlusten werden im Anhang A-1.2 näher erläutert. Das nationale Aggregationsniveau beeinflusst nicht nur die konkrete Auswahl und Berechnung von Indikatorvariablen, sondern auch die Wahl der Analysemethoden und schließlich den gesamten Charakter der Analyse.

Vor allem müssen folgende aggregationsbedingte Besonderheiten beachtet werden:

- Durch die Verwendung nationaler Werte kommt es potentiell zu einer räumlichen Entkopplung der Bodenerosion und der sie verursachenden Rahmenbedingungen. Bei nationalen Werten ist z.B. nicht feststellbar, wo die arme ländliche Bevölkerung in einem Land lokalisiert ist, wo der Boden besonders stark von Erosion betroffen ist und dementsprechend auch nicht, ob der Boden gerade dort besonders stark erodiert ist, wo sich die arme ländliche Bevölkerung konzentriert. Es kann lediglich untersucht werden, ob Länder mit einem relativ hohen Anteil armer Landnutzer relativ stärker erodiert sind als Länder mit einem geringen Anteil Armer.

⁷⁰ Gemeint sind Zeiträume, die weit mehr als 50 Jahre umfassen.

- Die Hypothesen zum Einfluß verschiedener Erosionsdeterminanten haben ihre empirische Grundlage auf lokalem Niveau. Ihre Übertragung auf nationale Ebene verleiht den zu untersuchenden Größen quasi einen latenten Charakter, d.h. es steht auf Grundlage der Hypothesen nicht fest, ob und wie diese Größen für die nationale Ebene direkt beobachtet und gemessen werden können. Um dies an einem Beispiel zu demonstrieren, sei folgender, für einen konkreten lokalen und zeitlichen Kontext gültiger Zusammenhang gegeben: Die Zunahme ländlicher Armut - im Sinne der Verschlechterung der Einkommens- und Ernährungssituation der Landnutzer in einer bestimmten Region und in einem bestimmten Zeitraum - führt dazu, daß die Brachezeiten verkürzt werden, marginale Flächen zusätzlich bebaut werden und die Erosionsraten steigen. In diesem Fall stellt sich bei der Übertragung auf das nationale Niveau die Frage, wie ländliche Armut und ihre Zunahme hier zu messen sind: Wählt man, analog zur lokalen Ebene, durchschnittliche Pro-Kopf-Größen oder eher den Anteil Armer an der Bevölkerung, oder sogar den Anteil der Landesfläche, der von Armen bebaut wird bzw. die Veränderung dieser Größen über die Zeit? Wie können weiterhin eine Verkürzung der Brachezeiten und die Inkulturnahme marginaler Flächen auf nationaler Ebene erfaßt werden?
- Die Anpassungsgüte des Regressionsmodells verbessert sich - u.U. sogar stark – durch die Zugrundelegung aggregierter Daten⁷¹. GREENE faßt die Ursache hierfür folgendermaßen zusammen: „*Essentially, the averaging has the additional effect of averaging out the disturbance variation.*“ (1997, S. 434).

Insgesamt wird davon ausgegangen, daß gerade auf dem im Vergleich zu den *mapping units* oder noch kleineren Einheiten sehr „groben“ nationalen Niveau sicherlich nicht alle, aber global betrachtet wesentliche Determinanten der Bodenerosion herausgearbeitet werden können. CONWAY und BARBIER bemerken zu diesem für Fragestellungen mit ökologischem Charakter noch ungewöhnlichen Aggregationsniveau:

„The higher up the hierarchy the greater is the apparent dominance of socio-economic processes, but ecological processes remain important and, at least in sustainability terms, crucial to achieving human goals. It may seem to be overextending definitions to regard the nation as an agrosystem, but we believe such a conceptualization is essential if the key trade-offs are to be explicitly recognized and analyzed.“ (CONWAY und BARBIER, 1990, S. 52).

Auf welche Art und Weise die geschilderten Besonderheiten, die sich aus den strukturellen Charakteristika der Fragestellung sowie der zeitlichen Eingrenzung und dem Aggregationsniveau ergeben, bei der Wahl der Analysemethoden (4.2) und der Datengrundlage (4.3) berücksichtigt werden, wird in den nächsten Abschnitten geschildert.

⁷¹ CRAMER hat dies in einer mittlerweile klassischen Studie dargestellt (CRAMER, 1964, zitiert in GREENE, 1997, S. 434).

4.2 Methodischer Ablauf der Analyse

Anforderungen an die Analysemethoden

Die Anforderungen, die an das analytische Instrumentarium gestellt werden, ergeben sich vor allem aus den im Abschnitt 4.1 dargestellten Besonderheiten der Fragestellung, aus strukturellen Charakteristika und dem gewählten Aggregationniveau der Analyse:

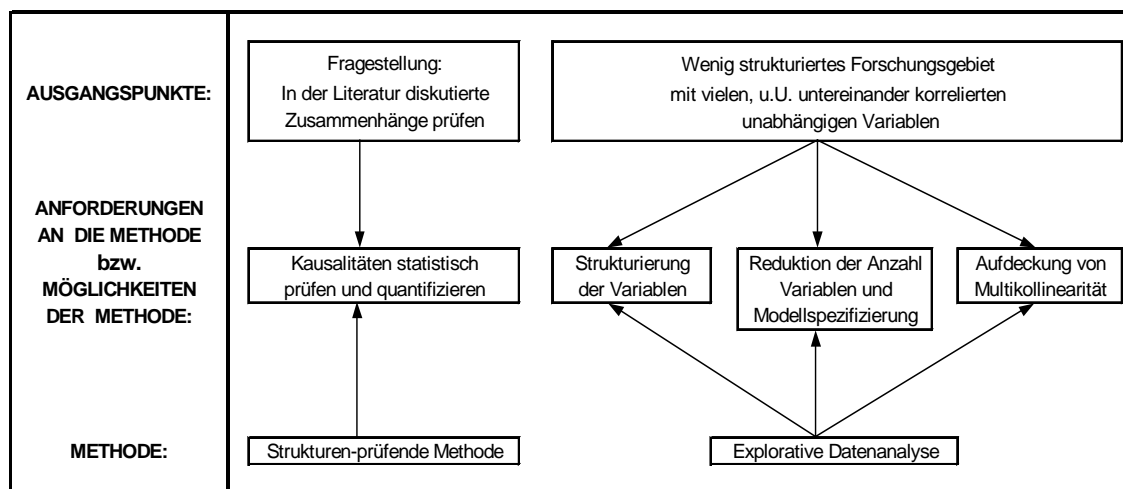
- Grundlegendes Ziel der empirischen Analyse ist die Identifizierung sozioökonomischer, und landnutzerischer Bestimmungsfaktoren der Bodenerosion unter einer Vielzahl möglicher Determinanten sowie die Quantifizierung der relativen Bedeutung einzelner Bestimmungsfaktoren.
- Aufgrund theoretischer Vorüberlegungen ist davon auszugehen, daß die Einflußgrößen der Bodenerosion miteinander in Zusammenhang stehen, wobei Einzelheiten über diese Strukturen unbekannt sind.
- Während die Annahmen zu den Determinanten der Bodenerosion meist auf subnationalem Niveau gründen, sind Daten insbesondere für die Erosionsdeterminanten nur auf nationalem Niveau verfügbar. Zwar ist anzunehmen, daß die Hypothesen grundsätzlich auch auf das nationale Niveau übertragbar sind und für dieses Niveau unter Hinnahme möglicher Informationsverluste geprüft werden können; es gibt jedoch keine aus einer Theorie ableitbaren formalen Modelle zur Prüfung der Hypothesen auf nationaler Ebene. Also handelt es sich - wenn man von dem besten realisierbaren, dem nationalen Aggregationsniveau ausgeht - um ein relativ „unstrukturiertes“ Forschungsgebiet“ (ÜBERLA, 1977, S. 86).
- Gerade bei der Übertragung der auf „Mikro“-Ebene fundierten Annahmen auf nationales Niveau kommt der Auswahl derjenigen aggregierten Indikatorvariablen, die die Zusammenhänge am treffendsten wiedergeben, erhebliche Bedeutung zu. Es handelt sich bei aggregierten Erosionsdeterminanten gewissermaßen um latente Größen, von denen *a priori* nicht bekannt ist, wie sie beobachtet und gemessen werden können. Um zu vermeiden, daß bei der Variablenauswahl nicht gerade die für die Wiedergabe der Hypothesen maßgeblichen ausgelassen werden, müssen für jede angenommene Einflußgröße mehrere Variablen in die empirische Untersuchung einfließen. Die Tatsache, daß dementsprechend relativ viele, z.T. hochkorrelierte Variablen in die Analyse eingehen, läßt Probleme der Modellspezifizierung und der Multikollinearität erwarten, die durch die eingangs genannte Verschachtelung etlicher der angenommenen Einflußgrößen noch verstärkt werden.

Ausgehend von dieser Kombination

- (a) einer grundsätzlich strukturenprüfenden Fragestellung,
- (b) eines auf dem besten realisierbaren Aggregationsniveau relativ unstrukturier-
ten Forschungsgebietes mit Größen, die z.T. latenten Charakter haben, und
- (c) von Variablen, die Probleme der Modellspezifizierung und der Multikollinea-
rität erwarten lassen,

kann man - sozusagen spiegelbildlich - die Anforderungen an das analytische Instru-
mentarium ableiten: Auf der einen Seite soll es erlauben, vorab hypothetisierte Kausal-
zusammenhänge zwischen Größen mit teilweise latentem Charakter zu prüfen, auf der
anderen Seite soll es Variablen für diese Größen strukturieren, reduzieren und hinsicht-
lich ihres Zusammenhangs untereinander untersuchen (vgl. Abbildung 4-3). Diese un-
terschiedlichen Anforderungen legen es nahe, die Methoden der schließenden Statistik,
die zur Verifizierung formaler Modelle oder Hypothesen eingesetzt werden, mit Metho-
den der explorativen Datenanalyse zu kombinieren bzw. ihnen diese vorzuschalten⁷⁹.

**Abbildung 4-1: Methodische Anforderungen an den explorativen und den
strukturenprüfenden Teil der Analyse**



Quelle: eigene Darstellung

Die Grundidee der explorativen Datenanalyse ist die systematische oder versuchsweise Transformation und Reduzierung einer bestimmten Variablenmenge mit dem Ziel, Strukturen, Muster und Zusammenhänge aufzudecken sowie Besonderheiten in den Daten sichtbar zu machen, die aus der Sicht des betreffenden Fachgebietes plausibel sind (s. RÖNZ et al., 1994, S. 112). Charakteristisch ist, daß vorab keine Modellannahmen über Zusammenhänge und Verteilungen der Variablen notwendig sind, und demnach auch keine Einteilung in abhängige und unabhängige Variablen erfolgt.

⁷⁹ Vgl. hierzu z.B. ÜBERLA, 1977, S. 86.

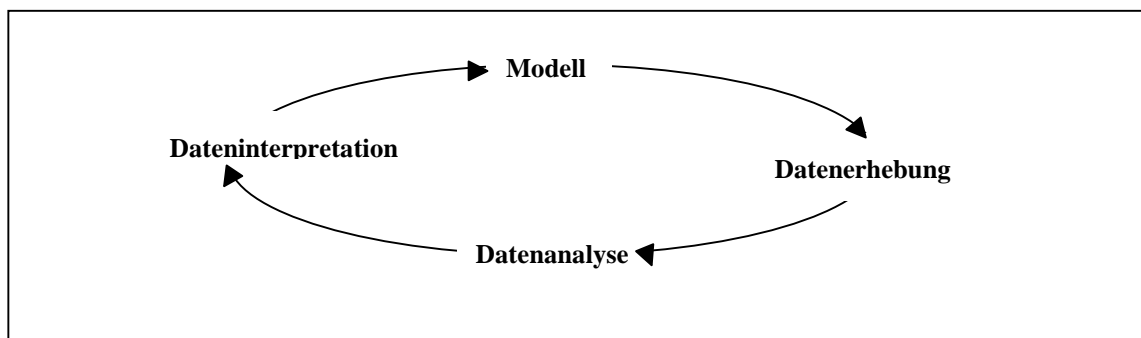
Hinter der explorativen Datenanalyse steht letztlich eine seit dem Ende der 70er Jahre an Bedeutung gewinnende, praxisorientierte Art der Modell- und Theoriefindung mit Hilfe statistischer Mittel. TUKEY, der der Entwicklung und Anerkennung der explorativen Datenanalyse als unabkÖmmliches Teilgebiet der Statistik in den 70er Jahren die entscheidenden Impulse gegeben hat, drückt das folgendermaßen aus:

„We often forget how science and engineering function. Ideas come from previous exploration more often than from lightening strokes.“ (TUKEY, 1986, S. 811)

„Most textbook discussions of statistics or data analysis take the model (in all its aspects) as given - almost handed down from above, as the tables of stone were to Moses.[...] The statistician's role is to aid in impartial assessment of the strength of the evidence for and against a particular model, and in favor of one or another particular value for the parameters of that model. [...] This may have become a custom because mathematical theory could be developed starting from unquestioned assumptions.[...] In the real world, most suggestions of models come from someone having looked at data.“ (TUKEY, 1986, S. 892 ff.)

An Stelle theoretisch abgeleiteter Modelle, die anhand von Daten statistisch verifiziert werden, rückt TUKEY den „Modell-Daten-Zyklus“ in den Vordergrund der Theoriefindung, der sich graphisch wie in Abbildung 4-2 darstellen läßt.

Abbildung 4-2: Modellformulierung und explorative Datenanalyse



Quelle: eigene Darstellung nach TUKEY, 1986, S. 894 und 897

Den Zweck dieser Vorgehensweise, die TUKEY unter dem Begriff der *structural escalation* subsummiert, beschreibt er folgendermaßen:

„An apparently weaker a priori structure for the data is combined with the actual distribution of data sets to generate an apparently stronger a posteriori structure.“ (TUKEY, 1986, S. 909).

Obwohl die explorative Datenanalyse als „Sichtweise“⁷³ in der wissenschaftlichen Statistik erst jüngeren Ursprungs ist, sind die Methoden, derer sie sich vorwiegend bedient, klassische deskriptive Methoden: vor allem sind hier die Clusteranalyse, die Faktorenanalyse und die mehrdimensionale Skalierung zu nennen⁷⁴.

Die Vorteile einer methodischen Verknüpfung von explorativen und strukturenprüfenden Verfahren machen sich insbesondere Pfadmodelle sowie daraus abgeleitete Methoden, z.B. der LISREL-Ansatz oder das PLS-Modell⁷⁵, zunutze. Bei beiden Verfahren geht es darum, vermutete Kausalzusammenhänge unter nicht direkt meßbaren, also latenten Größen mit Hilfe von Indikatorvariablen zu prüfen. Dabei werden die kausalen Beziehungen zwischen den latenten Variablen in einem Strukturmodell abgebildet, das dem regressionsanalytischen Denkansatz entspricht. Als Voraussetzung hierfür werden die Beziehungen zwischen den einzelnen latenten Variablen und den sie operationalisierenden Indikatorvariablen mit Hilfe der Faktorenanalyse bestimmt (vgl. BACKHAUS et al., 1994, S. 349 ff.).

Wenn auch Parallelen zwischen dem Ansatz der Pfadanalyse und der vorliegenden Fragestellung sowie den methodischen Erfordernissen zu erkennen sind - nicht zuletzt auch wegen des latenten Charakters der hochaggregierten Variablen -, so gibt es zwei wichtige Gründe, aus denen sie für die vorliegende Analyse nicht geeignet erscheint. Erstens wird bei der Pfadanalyse davon ausgegangen, daß vorab, aufgrund theoretischer Überlegungen, Informationen sowohl über Richtung und Stärke der Beziehungen unter den latenten Variablen als auch über die Anzahl latenter Variablen und Indikatoren vorliegen. In der vorliegenden Analyse ist das nicht der Fall.

Zweitens ist es ein erklärtes Ziel von Pfadanalysen, umfassende Kausalstrukturen zu analysieren. Auch angenommene Zusammenhänge zwischen verschiedenen exogenen Variablen werden anhand von Mehrgleichungssystemen modelliert. Sicherlich können bei der vorliegenden Untersuchung Zusammenhänge zwischen Erosionsdeterminanten wie z.B. Armut und Bevölkerungsdruck und auch anderen vermutet werden, und grundsätzlich ist deren Untersuchung von großem Interesse. Aber es entspricht nicht dem Ziel der Untersuchung, diese Zusammenhänge im einzelnen zu modellieren, sondern vielmehr, möglichen Ursachen der Bodenerosion empirisch nachzugehen - wohlgerne immer unter Berücksichtigung der Zusammenhänge unter diesen Ursachen. Weiterhin ist anzunehmen, daß die Qualität der Daten zu variabel ist, als daß sie die Modellierung

⁷³ TUKEY bemerkt hierzu: „*Exploratory data analysis is an attitude, a flexibility, and a reliance on display, NOT a bundle of techniques...*“ (TUKEY, 1986, S. 811).

⁷⁴ Diese Methoden werden eingehend beschrieben bei BACKHAUS et al., 1994.

⁷⁵ LISREL steht für *Linear Structural Relationships*, ein von JÖRESKOG entwickelter Maximum-Likelihood Ansatz (JÖRESKOG und SÖRBOM, 1989, zitiert in BACKHAUS et al., 1994, S. 327). PLS steht für *Partial Least Squares*-Algorithmus, der auf WOLD zurückgeht (WOLD, 1982, zitiert in BACKHAUS et al., 1994, S. 344).

sämtlicher angenommener Beziehungen in einem hochdimensionalen Gleichungssystem erlaube.

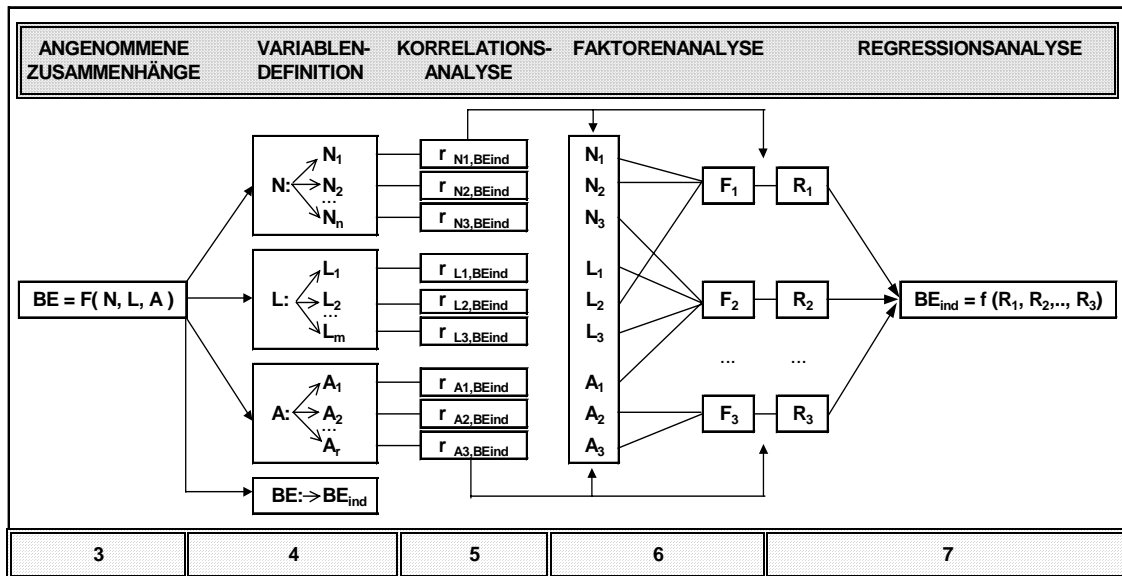
Dementsprechend sind Pfadanalysen zu sehr auf die Prüfung theoretisch modellierbarer und im Vorfeld quantifizierbarer Hypothesen über mehrdimensionale Zusammenhänge ausgerichtet, als daß sie auf die vorliegende Fragestellung bei gegebener Datenlage anwendbar wären. Eine angepaßte Kombination von Analysemethoden sollte ihren Schwerpunkt in höherem Maße bei der Datenexploration haben, als dies bei Pfadanalysen der Fall ist.

Kombination geeigneter Analysemethoden

"A major need at present is not for more theory or techniques, but for the application of existing methodology and approaches to concrete problems, particularly in developing countries. The major objective should not be to provide fine-tuned numbers, but to indicate orders of magnitude." (LUTZ und MUNASINGHE, 1994, S. 37)⁷⁶

Gemäß den geschilderten Anforderungen an die Analysemethoden wird die im folgenden dargestellte Kombination explorativer und strukturenprüfender Methoden für die empirische Untersuchung zusammengestellt. Sie ist in Abbildung 4-3 als eine Art „Fahrplan“ dargestellt.

⁷⁶ Die Autoren beziehen dies vor allem auf Methoden zur Analyse des Einflusses von Wirtschaftspolitik auf Bodendegradation.

Abbildung 4-3: Methodisches Vorgehen - Aufeinanderfolge einzelner Schritte¹⁾

- ¹⁾ ...BE: Bodenerosion, BE_{ind} : Indikatorvariable für Bodenerosion
N: Natürliche Bedingungen
L: Landnutzung
A: Anthropogene Rahmenbedingungen (sozioökonomisch, demographisch, politisch)
r: Korrelationskoeffizient
 F_x : Faktor
R: Faktorrepräsentant
In der untersten Zeile: Kapitel, in dem der jeweilige Schritt durchgeführt wird

Quelle: eigene Darstellung

Darstellung der angenommenen Zusammenhänge

In der ersten Spalte der Abbildung sind die in der Literatur diskutierten Zusammenhänge, die in Kapitel 3 vorgestellt wurden, in Form einer unspezifizierter Funktion dargestellt: Bodenerosion (BE) ist eine Funktion von natürlichen Bedingungen (N), von der Art der Landnutzung (L) und von anthropogenen Rahmenbedingungen (A) aus dem sozio-ökonomischen, demographischen und politischen Bereich.

Operationalisierung mittels Indikatorvariablen

Um die Zusammenhänge zwischen Bodenerosion und ihren angenommenen Einflußgrößen zu operationalisieren, müssen in einem ersten Schritt Indikatorvariablen sowohl für die abhängige Größe BE als auch für die angenommenen Determinanten aus den Bereichen L, N und A bestimmt werden (zweite Spalte der Abbildung 4-3). Wegen der bereits geschilderten Datenrestriktionen werden alle Indikatoren auf nationaler Ebene aggregiert ausgedrückt. Leitendes Prinzip bei der Auswahl und Operationalisierung von nationalen Indikatoren bzw. Variablen ist zunächst die sachlogisch möglichst genaue Wiedergabe der entsprechenden in der Literatur formulierten Größen. Gleichzeitig sollen die Indikatoren für die Bodenerosion ebenso wie für die angenommenen Determinanten möglichst

flächenbezogen sein. Der Grund hierfür ist, daß die letztlich qualitativen GLASOD-Daten über den Flächenbezug in Form quantitativer Größen auf die nationale Ebene aggregiert werden können. Um mit diesem flächenhaft aggregierten Erosionsindex „kompatibel“ zu sein, sollten die Indikatorvariablen für die Determinanten der Bodenerosion ähnlich dimensioniert sein, also auch Flächenbezug haben. Weiterhin sollten die Indikatorvariablen für die Determinanten der Bodenerosion möglichst die Veränderung der betrachteten Größen in den letzten Jahrzehnten wiedergeben.

Trotz dieser methodischen Richtlinien für die Auswahl von Indikatorvariablen besteht noch ein großer Spielraum bei ihrer konkreten Bestimmung. Da aus sachlogischen Gründen und gerade auch wegen des hohen Aggregationsniveaus *a priori* nicht bekannt ist, welche Indikatoren die Determinanten der Bodenerosion auf nationaler Ebene am besten wiedergeben - im Sinne der möglichst realistischen Abbildung latenter Größen -, und da das Auslassen der „besten“ Indikatoren zu Fehlschlüssen führen könnte, sollen pro Einflußgröße mehrere Indikatorvariablen (N_1 , N_2 , N_3 etc.) bestimmt werden. Obwohl auch für die Bodenerosion mehrere Indikatoren berechnet werden, wird in der Grafik einfachheitshalber nur ein Erosionsindex (BE_{ind}) dargestellt. Wie für die einzelnen Determinanten Indikatorvariablen ausgewählt und operationalisiert werden, wird im Abschnitt 4.2 erläutert.

Korrelationsanalyse

Um zu einer groben, ersten Einschätzung der Art, Stärke und Signifikanz der Zusammenhänge zwischen dem Erosionsindex und einzelnen mutmaßlichen Einflußgrößen zu gelangen, werden Korrelationsanalysen zwischen BE_{ind} und den unabhängigen Variablen durchgeführt (dritte Spalte in Abbildung 4-3). Insbesondere bei den Variablen, für die nicht genug Länderdaten vorhanden sind, um sie in die nachfolgenden multivariaten Analysen zu integrieren, können die Korrelationskoeffizienten Hinweise auf ihre mögliche empirische Bedeutung geben.

Für die multivariaten Analysen erfüllt die Korrelationsanalyse darüber hinaus eine zweite Funktion: Stärke und Signifikanz der Korrelationen einzelner Variablen mit den Erosionsindizes sind - wie weiter unten erläutert - bei den multivariaten Analysen neben anderen Größen als Kriterien für die Variablenauswahl ausschlaggebend - sowohl bei den explorativen Verfahren als auch bei der Kausalanalyse. Durchführung und Ergebnisse der Korrelationsanalysen werden im Kapitel 5 beschrieben.

Faktorenanalyse und Auswahl von Repräsentanten

Von den Methoden, die bei der explorativen Datenanalyse verwendet werden, kann insbesondere die Faktorenanalyse den in Abbildung 4-1 (s. S. 84) zusammengefaßten Anforderungen gerecht werden. Analyseverfahren, die mit dem Sammelbegriff Faktorenanalyse i.w.S. bezeichnet werden, sind grundsätzlich multivariate, strukturenentdeckende Verfah-

ren, die zum Ziel haben, eine größere Menge beobachteter Variablen auf Grundlage der Untersuchung ihrer Zusammenhänge auf möglichst wenige, voneinander unabhängige hypothetische Größen, die *Faktoren*, zurückzuführen, um letztere dann weiteren Analysen zugrundelegen zu können⁷⁷. In dieser Formulierung finden alle drei Anforderungen der Abbildung 4-1 ihre Korrelate: Viele Variablen werden auf Grundlage ihrer Zusammenhänge, also der Struktur ihrer Korrelationsmatrix, auf möglichst wenige Faktoren zurückgeführt; d.h. sie werden zunächst strukturiert, dann - wenn dies aufgrund der Strukturen sinnvoll erscheint - in ihrer Anzahl reduziert. Gleichzeitig sind die hypothetischen Faktoren, auf die sie zurückgeführt werden, voneinander unabhängig, so daß die zwischen den Variablen bestehende Multikollinearität bei der Strukturierung der Variablen aufgedeckt und bei den Faktoren komplett aufgehoben wird.

Faktorenanalysen lassen sich in die in Kapitel 5 näher beschriebenen drei Teilschritte einteilen: (1) Auswahl von Ausgangsvariablen, (2) Extraktion von Faktoren sowie (3) Interpretation der Faktoren. Mathematisch ist dabei die Grund-idee - und gleichzeitig das Ziel - der Faktorenanalyse, daß jeder Beobachtungswert einer Variablen sich als Linearkombination mehrerer voneinander unabhängiger hypothetischer Faktoren beschreiben läßt (vgl. vierte Spalte der Abbildung 4-3). Entstehungsgeschichte, Anwendungsgebiete, methodische Vorgehensweise im allgemeinen und in diesem konkreten Fall sowie die Ergebnisse der durchgeführten Faktorenanalysen werden im Kapitel 6 vorgestellt.

Zur Reduktion der Variablenanzahl wird für jeden hypothetischen Faktor (F_1, F_2, F_3) **eine** Variable ausgewählt, die den Faktor repräsentiert (R_1, R_2, R_3). Zwar bestünde auch die Möglichkeit, die bei der Faktorenanalyse errechneten Werte für die hypothetischen Faktoren, die Faktorwerte, als Repräsentanten der Faktoren zu benutzen; jedoch wird in der Literatur immer wieder darauf hingewiesen, daß es sich - vor allem bei der Faktorenanalyse mittels der Hauptkomponentenmethode - hier nicht nur um latente, sondern um „künstliche“ Größen handelt, die - bestenfalls - interpretiert werden können, aber kein Gegenstück in der Wirklichkeit haben. Folglich sind sie für die Verwendung in empirischen Analysen, bei denen „real existierende“ Strukturen geprüft werden sollen, nur bedingt geeignet (ÜBERLA, 1977, S.88; GREENE, 1997, S. 427).

Bei der Wahl von Repräsentanten für die Faktoren sind zwei Kriterien, von denen das erste das bedeutendere ist, ausschlaggebend: erstens die Höhe der Korrelation der Variablen mit dem jeweiligen Faktor - die Faktorladung, denn nur eine Variable, die mit dem hypothetischen Faktor hoch korreliert ist, kann diesen repräsentieren; zweitens die Höhe der Korrelation der Variablen mit dem Erosionsindex BE_{ind} bzw. mit verschiedenen Erosionsindizes. Es wird erwartet, daß durch die Einbeziehung der Korrelationen mit der Bodenerosion als zweites Auswahlkriterium die strukturenprüfende Analyse insgesamt

⁷⁷ Vgl. OST in FAHRMEIR und HAMERLE, 1984, S. 575 u. 640; ÜBERLA, 1977, S. 3 u. S. 85; BACKHAUS et al., 1994, S. 189.

„effizienter“⁷⁸ wird. Damit ist gemeint, daß durch die vorzugsweise Einbeziehung von mit der Bodenerosion in Zusammenhang stehenden Repräsentanten-Variablen in das zu spezifizierende und zu prüfende Ausgangsmodell der Kausalanalyse Rechengänge mit für die Bodenerosion ohnehin bedeutungslosen Variablen von vornherein ausgespart gemacht werden können.

Modellfindung / Regressionsanalyse

Im letzten Schritt können nun auf Grundlage der derart „verdichteten“ Variablen, über deren Zusammenhänge untereinander Informationen *qua* Faktorenanalyse vorliegen, die kausalen Beziehungen zwischen dem Indikator für Bodenerosion BE_{ind} als abhängige Variable und den die möglichen Einflußvariablen repräsentierenden unabhängigen Variablen R_x multivariat untersucht werden. Da alle unabhängigen Variablen in verhältnisskalierter Form vorliegen und auch die in ihrer ursprünglichen Form gemischtskalierten Daten über Bodenerosion⁷⁹ durch die Umrechnung in Flächenanteile in verhältnisskalierte Variable überführt werden konnten, ist die Verwendung eines parametrischen Verfahrens angezeigt. Als multivariates, parametrisches, strukturenprüfendes Verfahren kommt die multiple lineare Regressionsanalyse zur Anwendung. Da die Anzahl der in das Modell zu integrierenden Variablen nicht von vornherein bekannt ist, werden die Repräsentanten R_x nach der Methode der schrittweisen (englisch: *stepwise*) Regression, die eine Kombination aus vorwärts- und rückwärtsgerichteten Modellfindungsverfahren darstellt, Schritt für Schritt in das Modell aufgenommen. Besonders wichtig ist, daß bei der Deutung des derart spezifizierten Modells und der einzelnen Regressionsparameter jede Variable im Kontext der Einflußkategorie bzw. des Faktors, den sie repräsentiert, gesehen wird.

⁷⁸ Der Begriff wird hier gemäß dem allgemeinen Sprachgebrauch, nicht im Sinne der statistischen Effizienz verwendet.

⁷⁹ Rangskaliert (Erosionsgrad), nominalskaliert (Haupterosionsursache) und verhältnisskaliert (Erosionsausmaß).

4.3 Definition von Indikatorvariablen

Definition der Variablen für Bodenerosion

Die Variablen für das Ausmaß der Bodenerosion auf nationaler Ebene werden auf Grundlage der in Kapitel 2 beschriebenen aggregierten Erosionsindizes definiert. Als Degradationsformen werden sämtliche Formen der Wind- und der Wassererosion (im folgenden: E für Winderosion und W für Wassererosion) berücksichtigt und außerdem eine chemische Degradationsform, die im bodenkundlichen Sinne nicht der Erosion zuzurechnen ist: der Verlust von Nährstoffen und organischer Substanz im Oberboden (C, *soil depletion*), der **nicht** von Wind- oder Wassererosion verursacht wird.

WEC: Als wichtigster Erosionsindex ist der aggregierte Index WEC zu betrachten. Er gibt den Anteil der gegen Ende der 80er Jahre durch Wasser-, Winderosion und C degradierten Fläche an der degradierbaren Landesfläche - Ödland ausgenommen - wieder. Diese degradierbare Landesfläche wird im folgenden als Referenzfläche bezeichnet.

W,E,C: Um analysieren zu können, inwieweit es für einzelne Erosionsformen spezifische Erklärungsmuster gibt, werden außerdem drei nach Erosionstyp disaggregierte nationale Erosionsindizes formuliert: W, E und C. Sie geben für jedes Land den allein durch Wasser- oder Winderosion oder durch C degradierten Flächenanteil wieder.

WEC2_4: Dieser Indikator gibt den Anteil der Referenzfläche wieder, der mittel bis extrem schwer erodiert ist (Schweregrade „2“ bis „4“). Es wird davon ausgegangen, daß bei der differenzierten Einschätzung der Schweregrade „0“ (bzw. stabiler Flächen) und „1“ der subjektive Ermessensspielraum der GLASOD-Experten relativ groß ist - geht es doch dabei um die Frage, ob eine Fläche insgesamt als stabil zu betrachten ist oder als geringfügig degradiert. Ebenso liegt der Einstufung des Schweregrades als „2“ oder „3“ (mittel bis schwer erodiert) kein exakt objektivierbares Kriterium zugrunde. Hingegen ist vom Schweregrad „2“ an aufwärts klar, daß die Produktivität der entsprechenden Fläche mindestens stark zurückgegangen ist, wodurch sich die Schweregrade „2“ bis „4“ gegenüber den Einstufungen „0“ und „1“ klar unterscheiden.

WEC_s: Neben dieser recht groben Einteilung in eher leicht und eher schwer erodierte Flächen wird als zweite Variable, die den Schweregrad der Degradation berücksichtigt, der in Kapitel 2 vorgestellte gewichteter Erosionsindex einbezogen. Jede erodierte Fläche bzw. *mapping unit* wird bei der Aggregation auf nationale Ebene gemäß der Erosionsschwere gewichtet.

Insgesamt können anhand dieser Parameter das relative Ausmaß der Bodenerosion im allgemeinen sowie das Ausmaß verschiedener Erosionstypen und schwer erodierter Flächen beschrieben werden⁸⁰. Die relative Bedeutung verschiedener Erosionsdeterminanten wird jeweils getrennt, immer nur für eine dieser abhängigen Variablen analysiert. Im Vordergrund steht dabei der allgemeine Index WEC. Ein Grund dafür ist, daß dem nach Erosionstyp und Schweregrad differenzierten Vorgehen durch das Aggregationsniveau der Daten Grenzen gesetzt sind. Wenn die Aufsplittung der Erosionsindizes so weit geht, daß schließlich nur noch sehr kleine Anteile der Landesfläche Gegenstand der Untersuchung sind, so wird die „Schere“ zwischen den nationalen Durchschnittswerten für die möglichen Ursachen und den Erosionsvariablen u.U. sehr weit. Das bedeutet, daß die geographische Entkopplung von möglichen Determinanten der Bodenerosion und dem Erosionsstandort - wie in Abschnitt 4.1.2 im Zusammenhang mit dem Aggregationsniveau der Analyse besprochen - um so wahrscheinlicher wird, je detaillierter die Erosionsindizes definiert sind. Ein anderer Grund ist, daß WEC im Vergleich zu den Indizes, die die Erosionsschwere mit berücksichtigen, nicht durch die letztlich subjektive Experteneinschätzung der Erosionsschwere verzerrt ist.

Operationalisierung der Datengrundlage für natürliche und anthropogene Determinanten der Bodenerosion

„Trying to use measurements originally designed for another purpose is like wearing somebody else's suit - it may cover the body but rarely does it fit.“ (STOCKING, 1987, S. 51):

Mit diesem Defizit bestmöglich umzugehen, ist das Leitmotiv bei der Zusammenstellung und Operationalisierung der Datengrundlage für die empirische Analyse. Im Gegensatz zu STOCKING, der offenkundig „maßgeschneiderte Anzüge“ bevorzugt, muß hier auf Daten „von der Stange“ zurückgegriffen und eine möglichst gute Anpassung dieser Daten an die Fragestellung und den Charakter der Analyse erzielt werden.

Die Festlegung des Referenzzeitraumes erfolgt entsprechend den vorhandenen internationalen Datensammlungen. Ein Großteil der Datensätze liegt vom Jahr 1961 an vor, so daß generell der Zeitraum 1961 bis 1990 für die Analyse gewählt wird⁸¹. Wichtig ist, daß die Datensätze sich auf einen Zeitraum innerhalb des gewählten zeitlichen Referenzrahmens beziehen. Wieder andere Datensätze liegen nicht in Form von Zeitreihen vor, sondern nur für einen Zeitpunkt. Sofern davon ausgegangen werden kann, daß derartige Datensätze eine mittel- oder langfristig in einem Land vorherrschende Struktur wiedergeben – also nicht ein zufälliges Ergebnis eines bestimmten Jahres darstellen – kommen auch sie für die Analyse in Frage.

⁸⁰ Eine länderweise Auflistung für die verschiedenen Erosionsindizes findet sich im Anhang 2.

⁸¹ Das schließt nicht aus, daß auch Zeitreihen mit einbezogen werden, die erst später beginnen.

Bei der Auswahl und Operationalisierung vorhandener Datensätze ist das zentrale Kriterium, ob sie die in der Literatur diskutierten Erosionsdeterminanten treffend wiedergeben. Darüberhinaus sind folgende Kriterien bzw. wünschenswerte Eigenschaften der Datenbasis besonders wichtig. Sie werden anhand einzelner Beispielvariablen erläutert⁸²:

- (1) Die Datengrundlage soll ökologisch orientiert sein,** d.h. agroklimatische und Bodenbedingungen sollen - wo immer möglich - auch bei der Definition von Variablen für anthropogene Rahmenbedingungen berücksichtigt werden.

Beispiel: In Ergänzung zu den gängigen *person-land-ratios* werden zur Quantifizierung des Bevölkerungsdrucks die Daten des *Agro-Ecological-Zoning-Project* (AEZ) der *Food and Agricultural Organization* (FAO) herangezogen und an die Fragestellung angepaßt⁸³. Bei diesen Daten wird die potentielle ökologische Tragfähigkeit (*potential population supporting capacity – ppsc*) ins Verhältnis zu tatsächlichen Bevölkerungsdichten (*population density*) gesetzt (vgl. Anhang A-3.2)⁸⁴. Ein weiteres Beispiel ist der für die Agrarpreisentwicklung der vergangenen Jahrzehnte gewählte Indikator: Unter der Annahme, daß die vorherrschenden natürlichen Bedingungen die in einem Land kultivierbaren Früchte und auch die tatsächliche Anbaustruktur mitbestimmen, und daß vor allem die Preisentwicklung der wichtigsten kultivierbaren und kultivierten Früchte die Anbauentscheidungen der Landnutzer in ihrer Summe bestimmen, wurde die Veränderung der zuvor deflationierten Produzentenpreise im Referenzzeitraum als gewichteter Durchschnitt der Preisanstiegsraten aller für ein Land relevanten Produkte bestimmt. Als Gewichtungsfaktor wurde der durchschnittliche Anbauanteil einer Kultur an der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Referenzzeitraum verwendet (vgl. Anhang A-3.4)⁸⁵.

- (2) Die Datengrundlage soll sich am latenten Charakter der Hypothesen und Variablen auf national aggregiertem Niveau orientieren.**

Bsp: Geht man von der lokal gültigen Hypothese aus, daß abgeholzte Flächen erosionsanfälliger sind als mit Naturwald bewachsene, so ist bei Übertragung dieser Hypothese auf nationaler Ebene nicht klar, welche Indikatorvariable die Abholzung am treffendsten beschreibt und tatsächlich erosionsrelevant ist. So ist es denkbar, den durchschnittlichen Waldanteil eines Landes oder aber jährliche Abholzungsraten zu untersuchen. Ebenso ist bei den jährlichen Abholzungsraten unklar, ob eher der pro Landesfläche abgeholzte Flächenanteil oder der abgeholzte Anteil des Waldes für Bodenerosion ausschlaggebend ist. Aus diesem Grund werden etliche der angenommenen Einflußgrößen mehrfach, in verschiedener Weise definiert, berechnet und in die Datengrundlage aufgenommen.

⁸² Vgl. den *Land Quality Indicators* - Ansatz, den DUMANSKI und PIERI beschreiben (1997, S35 ff.).

⁸³ Vgl. FAO / IIASA (1982), FAO / UNFPA (1984) und FAO / UNFPA / IIASA (1982).

⁸⁴ Das Verhältnis der beiden Größen wird im folgenden als *AEZ-ratio* bezeichnet.

⁸⁵ Berechnung auf Grundlage der Produzentenpreisdaten der FAO (1997).

- (3) Die Datengrundlage soll flächenorientiert sein.** In Analogie zum Flächenbezug der national aggregierten Erosionsindizes wird versucht, auch alle anderen Variablen flächenhaft zu quantifizieren.

Bsp.: Als ein wichtiger Armutsmaßstab wird der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche annäherungsweise bestimmt, der von Armen bewirtschaftet wird. Hierzu werden Schätzungen über den Anteil Armer unter der Landbevölkerung gegen Ende der 80er Jahre mit Hilfe von Angaben zu dem von verschiedenen Einkommensgruppen bewirtschafteten Anteil der Fläche in einzelnen Entwicklungsländern, also einer Art Gini-Koeffizienten, kombiniert (vgl. Anhang A-3.3)⁸⁶. Auch die vorherrschenden natürlichen Bedingungen werden in Form von Flächenanteilen ausgedrückt, z.B. der Anteil der Landesfläche mit einer Hangneigung von mehr als 3%, 8%, 30%.

- (4) Die Datengrundlage soll die zeitliche Dimension erfassen.**

Bsp.: Für sämtliche Indikatorvariablen, denen Zeitreihen zugrundeliegen, werden sowohl Durchschnitte über den Referenzzeitraum 1961-1990⁸⁷ gebildet als auch die Wachstumsraten der Größen in diesem Referenzzeitraum berechnet. An dieser Stelle wird eine grundlegende Annahme getroffen: Es wird davon ausgegangen, daß Ausmaß und Grad der anthropogenen Bodenerosion gegen Ende der 80er Jahre von anthropogenen Ursachen in den 30 vorhergehenden Jahren beeinflusst wurden. Zwar ist diese Annahme plausibel, und ebenso ist es allemal legitim, Einflüsse aus diesem Zeitraum auf Bodenerosion zu untersuchen, aber es werden - letztlich in Ermangelung von Daten - anthropogene Einflüsse früherer Perioden ausgeklammert (s. auch Abschnitt 4.1.1). Vergleichbare Probleme der zeitlichen Eingrenzung und Staffelung treten bei jeder Untersuchung zeitbezogener Ursache-Wirkung-Beziehungen auf. Sie bedeuten statistisch gesehen letztlich, daß eine Gefahr der Unterspezifizierung des analytischen Modells besteht.

Während angenommen werden kann, daß die Durchschnittsgrößen eher strukturellen Charakter haben und längerfristige Entwicklungen wiedergeben, stehen die Wachstumsraten für die Veränderungen in etwa dem Zeitraum, der auch bei der Erhebung der GLASOD-Daten zugrunde gelegt wird. Die Berechnung der Wachstumsraten erfolgt unter Berücksichtigung der Datenqualität: Bei Datensätzen, die als wenig zuverlässig gelten werden die Wachstumsraten sowohl exponentiell als auch anhand von Endpunkten berechnet.

⁸⁶ Diese Daten stammen aus einer Zusammenstellung von JAZAIRY et al. 1991 für IFAD.

⁸⁷ Teilweise variiert dieser Zeitraum in Abhängigkeit von der Datenlage.

- (5) Die Datengrundlage soll verschiedene Wirkungsebenen umfassen.** Durch die Einbeziehung von landnutzerischen und natürlichen Daten über die sozioökonomischen, demographischen und politischen Rahmenbedingungen hinaus soll Licht in die *black box* gebracht werden, die der Landnutzer und seine Produktionsentscheidung als Bindeglied zwischen den Rahmenbedingungen und Bodenerosion darstellen⁸⁸.

Bsp.: Es werden Indikatorvariablen für die Intensität und Struktur der Produktion sowohl im Pflanzenbau als auch in der Tierproduktion und für die natürlichen Bedingungen bestimmt.

- (6) Die Datengrundlage soll differenziert sein.** Nicht zuletzt wegen des hohen Aggregationsniveaus der Analyse, das eher grobe, größenordnungsbezogene Aussagen zur Fragestellung erlaubt, wird versucht, die Variablen selbst auf diesem Niveau möglichst genau zu definieren.

Bsp.: So wird zur Analyse des Einflusses der Anbaustruktur nicht nur unterschieden in Dauerkulturen und einjährige Kulturen oder in Nahrungs- und Exportkulturen, wie das in anderen Untersuchungen teilweise der Fall ist. Zwar ist der Grad der Bodenbedeckung bei Dauerkulturen oft höher als bei einjährigen Kulturen und diese Dauerkulturen entsprechen häufig den exportierten Kulturen, aber das muß nicht so sein und kann die Analyse stark verzerren - Baumwolle oder Zuckerrohr z.B. zählen zu den eher bodengefährdenden Dauerkulturen. Statt dessen werden die verschiedenen Kulturen nach ihren Bodenbedeckungseigenschaften in fünf verschiedene Erosivitätsklassen eingeteilt. Für jedes Land wird dann berechnet, welcher Anteil der Anbaufläche mit Kulturen der verschiedenen Erosivitätsklassen bebaut wird, und wie sich die Anbauanteile im Referenzzeitraum verändert haben (vgl. Anhang A-3.1). Da die FAO-Datengrundlage für den Anbauumfang der einzelnen Kulturen eher als heterogen einzuschätzen ist, wird zudem für jedes Land geprüft, welcher Anteil der Anbaufläche von den erfaßten Kulturen abgedeckt ist⁸⁹. Nur in dem Fall, daß ein hinreichend großer Teil der Fläche durch die Hektarangaben zu den einzelnen Kulturen repräsentiert wird, wird der entsprechende Länder-Datensatz in die Analyse aufgenommen. Ähnlich differenziert wird auch bei anderen Indikatorvariablen vorgegangen.

In der auf den folgenden Seiten wiedergegebenen Tabelle 4-1 ist eine Liste der für die natürlichen Bedingungen, für die Landnutzungsintensität und -struktur sowie die demographischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen zusammengestellten Variablen enthalten. In der ersten Spalte der Tabelle ist die Abkürzung der jeweiligen Variablen

⁸⁸ Vgl. zu dieser Herangehensweise LARSON und NARAIN (1997, S. 185 f.).

⁸⁹ Hier werden Daten aus einer Datensammlung mit Flächenangaben einzelner Kulturen geprüft anhand einer anderen Datensammlung mit Angabe zur Größe der gesamten Ackerbau- und Dauerkulturfläche.

genannt, in der zweiten Spalte werden die Variablen beschrieben. Aus der dritten und vierten Spalte ist die ursprüngliche Datenquelle ersichtlich, wobei in der dritten Spalte die datenerhebende Organisation und in der vierten Spalte die Datensammlung angegeben sind. Bei dem überwiegenden Teil der dargestellten Variablen handelt es sich jedoch nicht um die „Rohdaten“ der genannten Datensammlungen, sondern um Größen, die auf Grundlage dieser Rohdaten berechnet wurden (Quotienten, Wachstumsraten für den Referenzzeitraum etc.). Folgende Abkürzungen werden für die Quellen der Ursprungsdaten in der Tabelle 4-2 verwendet:

- FAO: *Food and Agricultural Organization*
- IIASA: *International Insitute for Applied Systems Analysis*
- UNDP: *United Nations Development Programme*
- IFAD: *International Fund for Agricultural Development* / JAZAIRY et al.
- WB: *The World Bank* / Weltbank
- AEZ: Daten des *Agroecological Zoning Project: „Land Resources for Populations of the Future“* der FAO (FAO/IIASA, 1982)
- STAT: Statistische Datenbank der *Food and Agricultural Organization* (auch *agrostat, faostat*) (FAO, Daten für 1961 bis 1990)
- WRP: Bericht und Datensammlung *The State of World Rural Poverty* von JAZAIRY et al. für IFAD (JAZAIRY et al., 1991)
- ESSA: Datensammlung der Abteilung *Statistical Analysis Service* der FAO
- AGLS: Datensammlung der Abteilung *Soil Resources, Management and Conservation Service* der FAO
- HDR: *Human Development Report* des UNDP (1995)
- WD94: Datensammlung der Weltbank (1994): *World Data 1994 – World Bank Indicators on CD Rom Tables*
- AT2000: FAO-Datensammlung für das Projekt „*Agriculture Towards 2000*“ und Folgeprojekte (ALEXANDRATOS, 1988 und 1995)
- SMW: *Soil Map of the World* der FAO (FAO, 1995b)
- FRA: *Forest Resources Assessment 1990 – Tropical Countries* der FAO (FAO, 1993)

In der letzten Spalte schließlich ist die Anzahl der Länder, für die Daten der jeweiligen Variable vorliegen, angegeben. Sehr kleine Länder und Inseln werden dabei nicht berücksichtigt, weil hier die Möglichkeit besteht, daß Ungenauigkeiten bei der Aufteilung der *mapping units* auf verschiedene Länder durch den ARCINFO-overlay zu relativ starken Verzerrungen der Erosionsindizes führen. Als Kriterium für die Aufnahme eines Landes wird eine Mindestgröße von 20.000 km² festgelegt.

**Tabelle 4-1: Variablen für natürliche und anthropogene Rahmenbedingungen
- Legende, Quellen und Anzahl von Ländern mit Daten -**

NATÜRLICHE BEDINGUNGEN

Klima		Quelle		Anzahl Länder
AHDSA	Anteil hyperariden, ariden / semiariden Landes a.d. Anbaufläche [%] ¹⁾	FAO	AT2000	85
MSASH	Anteil semiariden und subhumiden Landes an der Anbaufläche [%] ¹⁾	FAO	AT2000	85
SH	Anteil subhumiden Landes an der Anbaufläche [%] ¹⁾	FAO	AT2000	85
H	Anteil humiden Landes an der Anbaufläche [%] ¹⁾	FAO	AT2000	85
FG	Anteil Ferrosol-Gleyosol an der Anbaufläche [%] ¹⁾	FAO	AT2000	85
HFG	Anteil humiden Landes u. Ferrosol-Gleyosol an der Anbaufläche [%] ¹⁾	FAO	AT2000	85
KP	Jahresniederschlags-Klasse [1-6]	FAO	AGLS	103
PMM_A	Durchschnittliche Jahresniederschläge [mm / Jahr, langjähriger Ø]	FAO	AGLS	103

Bodeneigenschaften

D1	Anteil Landesfläche mit Oberbodenmächtigkeit < 10 cm [%]	FAO	SMW	101
D4	Anteil Landesfläche mit Oberbodenmächtigkeit > 1 m [%]	FAO	SMW	101
T1	Anteil Landesfläche mit sandigen Böden [%]	FAO	SMW	101
T2	Anteil Landesfläche mit lehmigen Böden [%]	FAO	SMW	101
T3	Anteil Landesfläche mit tonigen Böden [%]	FAO	SMW	101

Hangneigung

S1	Anteil Landesfläche mit einer Hangneigung < 8% [%]	FAO	SMW	101
S2	Anteil Landesfläche mit Hangneigung ≥ 8 und ≤ 30% [%]	FAO	SMW	101
S2_3	Anteil Landesfläche mit Hangneigung von ≥ 8% [%]	FAO	SMW	101
S3	Anteil Landesfläche mit Hangneigung > 30% [%]	FAO	SMW	101

LEGENDE

Ø: Durchschnitt

¹⁾ Anbaufläche hier: Summe aus Ackerland (*arable land*) und Dauerkulturfläche.

Tabelle 4-1: (Fortsetzung)**LANDNUTZUNG****Anzahl****Flächennutzungsstruktur Quelle Länder**

AA_LA	Anteil LN an der Landesfläche [% , Ø 1961-1990]	FAO	STAT	102
FW_LA	Anteil Waldfläche an der Landesfläche [% , Ø 1961-1990]	FAO	STAT	102
OL_LA	Anteil <i>other land</i> an der Landesfläche [% , Ø 1961-1990]	FAO	STAT	102
WAA_LA	Wachstum des Anteils LN an der Landesfläche [WR 1961-1990]	FAO	STAT	102

Abholzung

DEFT	Anteil Wald, der Ø jährlich 1981-1990 abgeholzt wurde [WR [%Wald], 1981-1990]	FAO	FRA	91
DEFN	Anteil Naturwald, der Ø jährlich 1981-1990 abgeholzt wurde [WR [%Naturwald], 1981-1990]	FAO	FRA	91
DEF_ARE	Anteil Landesfläche, die 1981 - 1990 abgeholzt wurde [WR [%Landesfläche], 1981-1990]	FAO	FRA	91
DIFANT	(Anteil Naturwald 1980) – (Anteil Naturwald 1990) [Anteil an der GLASOD-Referenzfläche]	FAO	FRA	91

Landnutzungsstruktur

AR_AA	Anteil Ackerland an der LN [% , Ø 1961-1990]	FAO	STAT	102
PC_AA	Anteil Dauerkulturfläche an der LN [% , Ø 1961-1990]	FAO	STAT	102
ARPC_AA	Anteil Acker- und Dauerkulturland an der LN [% , Ø 1961-1990]	FAO	STAT	102
WAR_AAs	Wachstum des Anteils Ackerland an der LN [WR 1961-1990]	FAO	STAT	96
WPP_AA	Wachstum des Anteils Dauergrünland an der LN [WR 1961-1990]	FAO	STAT	
WARE	Wachstum des Anteils Ackerland [WR auf Grundlage der Werte für 1961 und 1990]	FAO	STAT	101
WPC_AA	Wachstum des Anteils Dauerkulturfläche an der LN [WR 1961-1990]	FAO	STAT	
WAP_AA	Wachstum des Anteils Acker- und Dauerkulturfläche an der LN [WR 1961-1990]	FAO	STAT	99
M_LU3	Anteil marginale LN (marginal-humid, hyperarid, arid) an der gesamten LN [% , ca. 1989]	FAO	AT2000	85

LEGENDE

LN: Landwirtschaftliche Nutzfläche

WR: Durchschnittliche jährliche Wachstumsrate

Ø: Durchschnitt

p.c.: per capita

s: nur signifikante Wachstumsraten berücksichtigt, d.h. geschätzte Wachstumsraten, deren Koeffizienten mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit < 0,1 die Zeitreihe wiedergeben.

(s): Es werden zwei Datensätze berücksichtigt, einerseits unter Zugrundelegung aller geschätzten Wachstumsraten, andererseits unter Zugrundelegung nur der signifikanten Wachstumsraten.

Tabelle 4-1: (Fortsetzung)**LANDNUTZUNG (Fortsetzung)****Anbaustruktur**

Anzahl
Quelle Länder

MWAP1	Anteil der Kulturen der Erosivitätsklasse 1 an der Anbaufläche ²⁾ [% , Ø 1961-1990]	FAO	STAT	*)
....	....dito für Erosivitätsklassen 1+2, 2, 3, 4 und 5 ²⁾	FAO	STAT	*)
WAHK1	Wachstum der mit Kulturen der Erosivitätsklasse 1 bebauten Fläche ²⁾ [WR ha, 1961-1990]	FAO	STAT	*)
....	....dito für Erosivitätsklassen 1+2, 2, 3, 4, 5 ²⁾	FAO	STAT	*)
W1s	Wachstum des Flächenanteils der Kulturen der Erosivitätsklasse 1 ²⁾ [sign. WR des Anteils, 1961-1990]	FAO	STAT	*)
....	....dito für Kulturen der Erosivitätsklassen 4s, 5s und 5 ²⁾	FAO	STAT	*)

Intensität der Landnutzung

CI	Cropping intensity ³⁾ : Anteil Erntefläche a.d. Anbaufläche ⁴⁾ [% , ca. 1989]	FAO	AT2000	85
PCP_T	Anteil der potentiellen Anbaufläche ⁴⁾ , der genutzt wird ³⁾ [% , ca. 1989]	FAO	AT2000	85
FER_AA	Kunstdüngerkonsum [kg/ha LN, Ø 1961-1990]	FAO	STAT	99
FER_AP	Kunstdüngerkonsum [kg/ha Anbaufläche ⁴⁾ , Ø 1961-1990]	FAO	STAT	98
FER_WB	Kunstdüngerkonsum [kg/ha LN, Ø 1961-1990]	WB	WD94	99
TR_AA	Traktorendichte [Stück/ha LN, Ø 1961 – 1990]	FAO	STAT	100
MWYCE	Erträge Getreide I (Weizen, Reis) [dt/ha, Ø 1961-1990]	FAO	STAT	97
MWYCG	Erträge Getreide II (Mais, Gerste, Hirse, Sorghum) [dt/ha, Ø 1961-1990]	FAO	STAT	96
WFER_Aps	Zunahme Kunstdüngerkonsum [WR kg/ha Anbaufläche ⁴⁾ , 1961-1990]	FAO	STAT	86
WTR_Aps	Zunahme Traktorendichte [WR Stück/ha Anbaufläche ⁴⁾ , 1961-1990]	FAO	STAT	99
WTR_AAs	Zunahme Traktorendichte [WR Stück/ha LN, 1961-1990]	FAO	STAT	100
WYCE(s)	Ertragswachstum Getreide I [WR dt/ha, 1961-1990]	FAO	STAT	97 (79)
WYCG(s)	Ertragswachstum Getreide II [WR dt/ha, 1961-1990]	FAO	STAT	96 (72)
MWWY	Ertragswachstum insgesamt [Ø der WR von Getreide I, II, Hülsen- früchten, Wurzel- und Knollenfrüchten 1961-1990]	FAO	STAT	96

LEGENDE

LN: Landwirtschaftliche Nutzfläche

WR: Durchschnittliche jährliche Wachstumsrate

Ø: Durchschnitt

s: nur signifikante Wachstumsraten berücksichtigt, d.h. geschätzte Wachstumsraten, deren Koeffizienten mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit < 0,1 die Zeitreihe wiedergeben.

*): Je nach Erosivitätsklasse

²⁾ Anbaufläche hier: Summe der Erntefläche der berücksichtigten Früchte

Klasse 1: Bananen, Kakao, Ölpalmen, Kochbananen, Tee

Klasse 2: Zitrusfrüchte, Kaffee, *other fruit* (gemäß FAO-Einteilung), RapsKlasse 3: Gerste, Roggen, Hafer, Weizen, Hirse, *paddy*-Reis, Zuckerrohr, WeintraubenKlasse 4: Bohnen (*Castor beans, dry beans, dry broad beans, green beans*), Erbsen (*chick-peas, dry peas, green peas*), Erdnüsse, Linsen, Mais, Kartoffeln, Baumwolle, Sorghum, Sojabohnen, Zuckerrüben, Sonnenblumen, Süßkartoffeln, Tabak

Klasse 5: Cassava, Taro, Yams

³⁾ CI und PCP_T: Schätzungen von 1989 mit strukturellem Charakter.⁴⁾ Anbaufläche hier: Summe aus Ackerland (*arable land*) und Dauerkulturfäche.

Tabelle 4-1: (Fortsetzung)**LANDNUTZUNG (Fortsetzung)**

Viehbesatzdichte		Quelle	Anzahl Länder	
MWAAA	Nutztierdichte [Stück / ha LN, Ø 1961-1990]	FAO	STAT	102
MWAPP	Nutztierdichte [Stück / ha Dauergrünland, Ø 1961-1990]	FAO	STAT	101
MWBAA	Dichte großer Nutztiere ⁵⁾ [Stück / ha LN, Ø 1961-1990]	FAO	STAT	102
MWBPP	Dichte großer Nutztiere ⁵⁾ [Stück / ha Dauergrünland, Ø 1961-1990]	FAO	STAT	101
WAAAs	Zunahme der Viehbesatzdichte [WR Stück / ha LN, 1961-1990]	FAO	STAT	102
WAPPs	Zunahme der Viehbesatzdichte [WR Stück / ha Dauergrünland, 1961-1990]	FAO	STAT	90
WBPPs	Zunahme der Dichte großer Nutztiere ⁵⁾ [WR Stück / ha Dauergrünland, 1961-1990]	FAO	STAT	91
WBAAs	Zunahme der Dichte großer Nutztiere ⁵⁾ [WR Stück / ha LN, 1961-1990]	FAO	STAT	90
WSAAs	Zunahme der Dichte kleiner Nutztiere ⁵⁾ [WR Stück / ha LN, 1961-1990]	FAO	STAT	87
WSPPs	Zunahme der Dichte kleiner Nutztiere ⁵⁾ [WR Stück / ha Dauergrünland, 1961-1990]	FAO	STAT	87

LEGENDE

LN: Landwirtschaftliche Nutzfläche

WR: Durchschnittliche jährliche Wachstumsrate

Ø: Durchschnitt

s: nur signifikante Wachstumsraten berücksichtigt, d.h. geschätzte Wachstumsraten, deren Koeffizienten mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit < 0,1 die Zeitreihe wiedergeben.

⁵⁾ Große Nutztiere: Rinder, Kamele, Pferde, Esel. Kleine Nutztiere: Schafe, Ziegen, Schweine.

Tabelle 4-1: (Fortsetzung)

ANTHROPOGENE RAHMENBEDINGUNGEN

Bevölkerungsdruck

		Quelle		Anzahl Länder
AEZR	Verbleibender Spielraum für die bevölkerungsmäßige agrarökologische Tragfähigkeit ⁶⁾ ca. 1985 [abs.]	FAO/ IIASA	AEZ	90
MWTP_LA	Bevölkerungsdichte [Personen / ha Landesfläche, Ø 1961-1990]	FAO	STAT	102
PDA	Bevölkerungsdichte Landwirtschaft [Personen / ha LN, Ø 1961-1990]	FAO	STAT	100
WAPOP_AA	Wachstum Bevölkerungsdichte Landwirtschaft [WR Personen / ha LN, 1961-1990]	FAO	STAT	99
WRP	Wachstum der ländlichen Bevölkerung [WR Bevölkerung, 1961-1990]	FAO	STAT	102
WTP	Bevölkerungswachstum insgesamt [WR Bevölkerung 1961-1990]	FAO	STAT	102
LAB_SF	Ø Anzahl Arbeitskräfte / kleinbäuerlicher Betrieb [Personen / Betrieb, ca. 1985]	IFAD	WRP	84

Armut

CAL	Tägliche Pro-Kopf-Kalorienversorgung [kcal / Person, Ø 1961-90]	FAO	STAT	96
HDI	<i>Human Development Index</i> 1992 [0 – 1, 1992]	UNDP	HDR	101
RP_N	Anteil Armer an der ländlichen Bevölkerung [% , ca. 1988]	IFAD	WRP	90
RP_AREA	Anteil der LN, der von Armen bewirtschaftet wird [% , ca. 1988]	IFAD	WRP	55
RP_AA	Dichte armer Landnutzer [Arme / ha LN, ca. 1988]	IFAD	WRP	90
VAPC	Wertschöpfung i.d. Landwirtschaft (<i>value added in agriculture</i>) / landw. Bevölkerung [US\$ / Person u. Jahr, Ø 1961-1990]	WB	WD94	76
WCAL(s)	Zunahme Kalorienversorgung [WR kcal / Person u. Tag, 1961-1990]	FAO	STAT	98
WVA	Wachstum <i>value added in agriculture</i> [WR US\$, 1961-1990]	WB	WD94	76
WVAPC	Wachstum <i>value added in agriculture</i> p.c. [WR US\$ / Person u. Jahr, 1961-1990]	WB	WD94	76
MWGINI	Mittelwert erster und aktuellster Gini-Koeffizienten [abs. [0-1], Ø ca. 1970 und 1985]	IFAD	WRP	23
GINI_R	Aktuellster Gini-Koeffizient [abs. [0-1], ca. 1985]	IFAD	WRP	55
FVP	Anteil <i>functionally vulnerable population</i> an der ländlichen Bevölkerung [% , 1988]	IFAD	WRP	53
WATER	Anteil Haushalte mit Zugang zu sauberem Trinkwasser [% , 1988]	WB	WD94	72
SF_ARPC	Von Kleinbauern bewirtschafteter Teil der Anbaufläche [% , 1988] ⁷⁾	IFAD	WRP	65

LEGENDE

LN: Landwirtschaftliche Nutzfläche

WR: Durchschnittliche jährliche Wachstumsrate

Ø: Durchschnitt

p.c.: per capita

s: nur signifikante Wachstumsraten berücksichtigt, d.h. geschätzte Wachstumsraten, deren Koeffizienten mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit < 0,1 die Zeitreihe wiedergeben.

(s): Es werden zwei Datensätze berücksichtigt, einerseits unter Zugrundelegung aller geschätzten Wachstumsraten, andererseits unter Zugrundelegung nur der signifikanten Wachstumsraten.

⁶⁾ Auf Grundlage der agrarökologischen Tragfähigkeit, engl. *Potential Population Supporting Capacity* (PPSC), und der tatsächlichen Bevölkerungsdichte (engl. *Population Density*, PD) berechnete Variable: Durchschnitt von (PPSC : PD) im Jahr 1975 und der Schätzung von (PPSC : PD) für das Jahr 2000. Berechnungsgrundlage und Vorgehen im einzelnen: s. Anhang A-3.2

⁷⁾ Anbaufläche hier: Summe aus Ackerland (*arable land*) und Dauerkulturfläche.

Tabelle 4-1: (Fortsetzung)**ANTHROPOGENE RAHMENBEDINGUNGEN (Fortsetzung)**

Preise/Wert der Landnutzung		Quelle	Anzahl Länder	
DGWP	Nach durchschnittlichen Anbauanteilen gewichteter Anstieg der aggregierten Produzentenpreise [WR Landeswährung, 1970-1989]	FAO	ESSA	56
WPx ⁸⁾	Anstieg der inflationsbereinigten Produzentenpreise der Kultur x ⁸⁾ [WR Landeswährung, 1970-1989]	FAO	ESSA	*)
WPx_DIF ⁸⁾	Abweichung des Preisanstiegs der Kultur x ⁸⁾ vom durchschnittlichen gewichteten Preisanstieg DGWP [% pro Jahr, Ø 1970-1989]	FAO	ESSA	*)
MDGx ⁸⁾	Abweichung der Ø jährlichen Erlöse der Kultur x ⁸⁾ von dem nach Anbauanteilen gewichteten Ø Hektarerlös aller 12 Kulturen [% , 1970-1989]	FAO	ESSA	*)
VKGx ⁸⁾	Variationskoeffizient der Hektarerlöse der Kultur x ⁸⁾ [abs., 1970-1989]	FAO	ESSA	*)
VAPHA	Wertschöpfung (<i>value added in agriculture</i>) eines Hektars [US\$ / ha LN, Ø 1961-1990]	WB	WD94	76
WVAPHA	Zunahme der Wertschöpfung / ha [WR US\$ / ha, 1961-1990]	WB	WD94	76

Unsicherheit/Landbesitzverhältnisse

VKINFL	Variationskoeffizient Inflationsrate [abs., 1965-1990]	IFAD	WRP	83
VKVAPC	Variationskoeffizient der Wertschöpfung in der Landwirtschaft p.c. (<i>value added in agriculture p.c.</i>) [abs., 1961-1990]	WB	WD94	76
NOM_AP	Anteil Nomaden an ländlicher Bevölkerung [% , ca. 1988]	IFAD	WRP	10
REF_AP	Anteil Flüchtlinge an ländlicher Bevölkerung [% , ca. 1988]	IFAD	WRP	41
LL_AP	Anteil Landlose an ländlicher Bevölkerung [% , ca. 1988]	IFAD	WRP	32

LEGENDE

LN: Landwirtschaftliche Nutzfläche

WR: Durchschnittliche jährliche Wachstumsrate

Ø: Durchschnitt

p.c.: per capita

s: nur signifikante Wachstumsraten berücksichtigt, d.h. geschätzte Wachstumsraten, deren Koeffizienten mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit < 0,1 die Zeitreihe wiedergeben.

(s): Es werden zwei Datensätze berücksichtigt, einerseits unter Zugrundelegung aller geschätzten Wachstumsraten, andererseits unter Zugrundelegung nur der signifikanten Wachstumsraten.

*): Je nach Kultur

⁸⁾ x: Reis, Weizen, Mais, Sorghum, Kartoffeln, Bohnen (*dry beans*), Cassava, Erdnüsse, Kaffee, Zuckerrohr, Baumwolle (*seed cotton*), Tabak.

Quelle: eigene Darstellung

Insgesamt sind von den in der Literatur diskutierten und in Kapitel 3 vorgestellten demographischen und sozioökonomischen Einflußgrößen der Bodenerosion in erster Linie Bevölkerungsdrucks- und Armutsvariablen gut erfaßt. Ebenso spiegeln einige der Landnutzungsvariablen mögliche aggregierte Reaktionen der Landnutzer auf Bevölkerungsdruck und Armut durch eine verstärkte Extensivierung und/oder Intensivierung der Landnutzung wider. Die aggregierte Größe für die Veränderung der relevanten Agrarpreise, DGWP, ist deswegen als besonders geeignet anzusehen, weil sie die Wirkungen makroökonomischer und agrarpolitischer Bedingungen insgesamt auszudrücken vermag. Gleichzeitig steht sie direkter als die politischen Rahmenbedingungen selbst (z.B. Protektionsraten) mit den Anbauentscheidungen der Produzenten in Verbindung. Deswegen ist zu erwarten, daß mögliche Zusammenhänge mit Bodenerosion auf dieser Zwischenebene eher nachweisbar sind als auf der Ebene von Makro-Politiken. Dennoch wurde die Datenlage z.B. für Protektionsniveaus eruiert - die vorliegenden Daten sind aber für eine aggregierte vergleichende Analyse nur bedingt geeignet, weil sie nur eine begrenzte Anzahl von Produkten, Ländern und einen begrenzten Zeitraum abdecken. Relative Preise und Preisveränderungen werden auch für die bedeutendsten zwölf Kulturen einzeln berechnet. Hier steht die Frage im Vordergrund, inwieweit das relative Preisniveau oder der relative Anstieg der Preise einzelner Kulturen über veränderte Anbaustrukturen (Flächenelastizität) zu mehr oder weniger Bodenerosion geführt haben. Anhand der Landnutzungsvariablen werden teilweise auch Größen erfaßt, die den u.U. exogenen technischen Fortschritt bemessen: die Zunahme der Düngemittelintensität⁹⁰ oder der Traktorendichte sowie etwa auch - als Ergebnis des technischen Fortschritts - das Ertragswachstum im Referenzzeitraum.

Hingegen sind die Indikatoren für Unsicherheit und die Art der Landbesitzverhältnisse insgesamt als unbefriedigend zu bewerten. Nur eine relativ geringe Anzahl von Ländern ist erfaßt, außerdem vermögen die Indikatoren kaum, den Gegenstand der diesbezüglichen theoretischen Diskussion wiederzugeben. Der Schwerpunkt der empirischen Analyse liegt dementsprechend eher auf den demographischen, sozialen, ökonomischen und preispolitischen Rahmenbedingungen der Landnutzung in Entwicklungsländern und ihren Wirkungen auf Bodenerosion.

Zur Qualität der Datengrundlage ist grundsätzlich anzumerken, daß sie sicherlich heterogen ist und von Variable zu Variable sowie innerhalb jeder Datensammlung mit der Qualität der Berichterstattung einzelner Länder an die Daten sammelnde Organisation variiert. Zudem sind die Daten Veränderungen in den Datenerhebungs- und Auswertungsmethoden durch die jeweilige Organisation unterworfen. MONTGOMERY und PECK beschreiben derartige *happstance-data*⁹¹ folgendermaßen:

⁹⁰ Düngemittel hier: Zugekaufte Düngemittel.

⁹¹ Der Begriff wurde geprägt von BOX, HUNTER und HUNTER (1978), s. MONTGOMERY und PECK, 1992, S. 269.

„...that is, data that have been extracted from historical records. Happenstance data are often saturated with defects including outliers, ‘wild’ points, and inconsistencies resulting from changes in the organization’s data collection and information-processing system over time. These data defects can have great impact on the variable selection process and lead to model misspecification.“ (MONTGOMERY und PECK, 1992, S. 269).

Ein weiterer Punkt ist, daß bei einigen Variablen die Vergleichbarkeit der Daten zwischen den Ländern zu Recht angezweifelt werden darf. Dies gilt beispielsweise besonders für Wohlstands- bzw. Armutsindikatoren (vgl. zu dieser Diskussion z.B. SAUTTER und SERRIES, 1993), weswegen gerade hier auf mehrere Indikatoren, die auch die Versorgungslage der Bevölkerung charakterisieren, zurückgegriffen wird. In einem Sonderbeitrag des Weltentwicklungsberichtes 1991 zu den Möglichkeiten und Grenzen quantitativer Analysen als Informationsquelle für Politikentscheidungen wird ebenfalls auf die genannten Gefahren qualitativ heterogenen Datenmaterials hingewiesen. Die Autoren kommen jedoch zu dem Schluß:

„Diese Warnungen sollen nicht dazu führen, daß auf die quantitative Analyse verzichtet wird. Sie befreien auch nicht von der Verantwortung, wirtschaftspolitische Schlußfolgerungen auf grund solcher Analysen zu formulieren. Es gibt keine ernstzunehmende Alternative zur empirischen Analyse als Basis für die Politik.“ (WORLD BANK, 1991, S. 53)

Insofern wird die gemischte Datenqualität an dieser Stelle zur Kenntnis genommen und bei der Ableitung von Schlußfolgerungen der empirischen Analyse berücksichtigt.

4.4 Klassifizierung der Länder nach agrarökologischen Zonen

Im empirischen Teil der vorliegenden Arbeit sollen grundsätzlich die allgemeinen anthropogenen Ursachen von Bodendegradation analysiert werden. Da davon ausgegangen werden kann, daß es außerdem Ursachen gibt, die für jede Klimazone spezifisch sind, ist es sinnvoll, die untersuchten Länder nach Klimazonen zu gruppieren und so eine gewisse Homogenität innerhalb einzelner untersuchter Teil-Stichproben herzustellen. Ein Problem bei diesem Vorgehen ist die einhergehende Reduktion des Stichprobenumfanges, so daß bei der Genauigkeit der Gruppierung nach Klimazonen hier gewisse statistische Grenzen gesetzt sind.

Als Kriterien für die Gruppierung der Länder werden zunächst drei verschiedene klimatische Größen in Betracht gezogen: die durchschnittlichen Jahresniederschläge sowie der Anteil besonders trockener und besonders humider Klimate an der Gesamtfläche des Landes (Tabelle 4-3). Dabei wird die Klimaklassifikation von KÖPPEN zugrunde gelegt, der die Klimate der Erde in fünf Klimazonen gliedert (vgl. MÜLLER, 1983, S. XI ff.):

- A-Klimate: tropische Regenklimate ohne kühle Jahreszeit. Die Mitteltemperatur des kältesten Monats ist $> 18^{\circ}\text{C}$.
- B-Klimate: Trockenklimate. Die Abgrenzung zu den anderen Klimazonen geschieht durch Trockengrenzformeln, die KÖPPEN empirisch ermittelt hat⁹².
- C-Klimate: warmgemäßigte Regenklimate. Die Mitteltemperatur des kältesten Monats liegt zwischen 18°C und -3°C , die des wärmsten Monats ist $> 10^{\circ}\text{C}$.
- D-Klimate: Schnee-, Wald- oder boreale Klimate. Die Mitteltemperatur des kältesten Monats ist $< -3^{\circ}\text{C}$, die des wärmsten Monats $< 10^{\circ}\text{C}$.
- E-Klimate: Eisklimate. Die Mitteltemperatur des wärmsten Monats liegt unter 10°C .

Für alle betrachteten Länder werden die Anteile der fünf Klimazonen an der Landesfläche in Anlehnung an die Klimakarten nach KÖPPEN und GEIGER (MÜLLER, 1983, S. 109, 229 und 263) grob ermittelt. Diese Klimaindikatoren sind deswegen geeigneter als die Daten der FAO-Datenbank AT2010 (AHDSA etc., s. Tabelle 4-2), weil letztere sich nur auf die mit einjährigen und Dauerkulturen bebaute Fläche beziehen und die klimatischen Bedingungen des Dauergrünlandes außer acht lassen. Die Anteile der Klimate A und B an der Landesfläche werden als Gruppierungsmerkmale ausgewählt.

Weiterhin kann von der Annahme ausgegangen werden, daß es unterschiedliche Erklärungsmuster für Bodendegradation in arideren Regionen mit viel Viehhaltung durch Überweidung auf der einen Seite und für Bodendegradation in humideren, vom Ackerbau dominierten Regionen auf der anderen Seite gibt. Deshalb werden über die drei klimati

⁹² Bei Sommerregen: $N = 2(T+14)$; bei Regen zu allen Jahreszeiten: $N = 2(T+7)$; bei Winterregen: $N = 2T$. Mit N: mittlerer Jahresniederschlag und T: mittlere Jahrestemperatur. Bleibt der Niederschlag unter der Trockengrenze, so gehört das Gebiet den B-Klimaten an (s. MÜLLER, 1983, S. XII).

schen Variablen hinaus (a) der Anteil Dauergrünland an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (PP_AA , s. Tabelle 4-2) und (b) der Anteil der im Rahmen des GLASOD identifizierten direkten Erosionsursachen Überweidung (*overgrazing*) und Übernutzung der Vegetation für Haushaltszwecke (*overuse of fuelwood for domestic use*)⁹³ am Zustandekommen der gesamten Bodenerosion (EG_DEG) als Kriterien hinzugezogen.

Es ist offensichtlich, daß alle fünf derart bestimmten Merkmale Proxis für das vorherrschende Klima und deshalb voraussichtlich korreliert sind, weshalb im Vorfeld der Clusteranalyse zur Gruppierung der Länder zunächst eine Faktorenanalyse durchgeführt wird (vgl. hierzu BACKHAUS et al., 1994, S. 313). Von vier aus den fünf Variablen extrahierten Faktoren erklärt der erste 63% der Gesamtvarianz der fünf Variablen. Er hat starken Bezug vor allem zu den Jahresniederschlagsverhältnissen und zur Relevanz der Überweidung als direkter Erosionsursache, die jeweiligen Faktorladungen betragen $-0,90$ und $0,88$ (nach der Varimax-Methode rotiert: $-0,76$ und $0,83$). Auch die Anteile der Klimazonen A und B an der Landesfläche werden von diesem Faktor erfaßt, sie haben Faktorladungen von $0,88$ (Klimazone B, rotiert: $0,44$) und $-0,72$ (Klimazone A, rotiert: $0,27$) (vgl. Tabellen A-4.1 und A-4.2 im Anhang 4). Da damit die inhaltlich als am wichtigsten erachteten Kriterien zur Gruppierung der Länder hinreichend gut erfaßt und zusammengefaßt sind, werden die Faktorwerte allein dieses Faktors als Variable in die Clusteranalyse aufgenommen. Somit wird auf das Kriterium des Anteils Dauergrünland an der landwirtschaftlichen Nutzfläche nicht explizit zurückgegriffen – es ist als Kriterium zur Vermeidung einer heterogenen Stichprobe ohnehin weniger bedeutsam als die klimatischen Größen.

Zur Gruppierung der Länder nach dem klimatischen Faktorwert wird eine Clusteranalyse auf der Basis eines hierarchischen, agglomerativen Algorithmus durchgeführt⁹⁴. Für die Anzahl der Cluster wird ein Bereich zwischen 4 und 8 angegeben. Unter Berücksichtigung der bereits weiter oben genannten statistischen Restriktion bzgl. der Fallzahlen in den einzelnen Gruppen kann eine Clusteranzahl von sechs Clustern als geeignet angesehen werden.

Die Länder der Cluster 1 (10 Länder) und 2 (12 Länder) sind durch einen hohen Anteil von Zonen mit Trockenklimaten, geringe Jahresniederschläge (maximal 550 mm/a) und durch eine große Häufigkeit von Überweidung und Feuerholzübernutzung als Degradationsursachen gekennzeichnet (vgl. Tabelle 4-2). Ähnlich, nur weniger extrem, stellt sich die Situation in den Ländern des Clusters 3 (15 Länder) dar: Auch hier überwiegen Länder mit geringen bis mittleren Jahresniederschlägen, z.T. haben einige Länder allerdings einen höheren Anteil humider Klimazonen. Die Länder des vierten Clusters (35 Länder)

⁹³ Diese direkte Ursache wird ebenfalls eher mit der Feuerholzübernutzung in ariden Regionen in Zusammenhang gebracht.

⁹⁴ *Average-Linkage*-Algorithmus; vgl. hierzu BACKHAUS et al., 1994, S. 260 ff. und S. 280 f.

sind insgesamt der „mittleren“ bzw. nicht-ariden Klimazone zuzuordnen, in der Aridität und die Bedeutung von Überweidung als Erosionsursache in den Hintergrund treten. Cluster 5 (11 Länder) kann als gemischte Gruppe bezeichnet werden, die Länder haben im Mittel geringere Jahresniederschläge als die Länder des Clusters 4, auch der Anteil trockener und humider Klimate an der Landesfläche variiert stärker. Die sechste Cluster-Gruppe schließlich (20 Länder) umfaßt unzweifelhaft die humidesten Länder mit bis zu rd. 3.200 mm durchschnittlichen Jahresniederschlägen. Hier stehen nicht mehr die Überweidung und Feuerholzübernutzung durch private Haushalte, sondern landwirtschaftliches Mißmanagement und Abholzung als unmittelbare Degradationsursachen im Vordergrund. Eine Liste der in den einzelnen Clustern enthaltenen Länder ist im Anhang 4, Tabelle A-4.2, enthalten.

Tabelle 4-2: Klimagruppen K1 bis K6 - Mittelwerte verschiedener Ariditätsindizes und Anzahl der Länder pro Gruppe

	Klima B - trocken - [%] ¹⁾	Klima A - humid - [%] ¹⁾	Jährliche Niederschlä- ge [mm/a]	Überweidung u. Feuerholzeinschlag ²⁾ [% erodierte Fläche]	Anteil Dau- ergrünland [%/LN] ³⁾	Anzahl Länder ⁴⁾
K1	100	0	186	95	91	10
K2	79	3	308	74	74	12
K3	48	15	688	45	73	15
K4	3	60	1592	12	56	35
K5	25	37	1050	25	71	11
K6	0	91	2319	2	32	20

¹⁾ Anteil des jeweiligen Klimas an der Landesfläche

²⁾ Bedeutung der unmittelbaren Ursachen Überweidung und Feuerholzeinschlag privater Haushalte: Anteil der erodierten Fläche, dem diese unmittelbaren Ursachen im GLASOD zugeordnet werden

³⁾ LN: Landwirtschaftliche Nutzfläche. Die Größe ist kein Kriterium bei der Clusterbildung

⁴⁾ Anzahl von Ländern, die für jede Klimagruppe erfaßt sind

Quelle: eigene Darstellung

Abschließend sei angemerkt, daß bei der nach Klimazonen differenzierten Analyse im empirischen Teil der vorliegenden Arbeit die sehr ariden Länder (Cluster 1 und 2), die sehr humiden Länder (Cluster 6) sowie die Länder, die weder besonders arid noch besonders humid sind (Cluster 4), im Mittelpunkt stehen. Die Cluster 1 und 2 werden, auch wegen der Fallzahlen, zusammengefaßt betrachtet, die Cluster 4 und 6 in einigen Fällen ebenfalls. Die weniger extremen und relativ kleinen Cluster 3 und 5 werden nicht gesondert analysiert. Besonderheiten bzw. für einzelne Klimazonen typische Erosionsursachen können sicherlich eher anhand der klar voneinander abgrenzbaren Cluster 1-2, 4 und 6 herausgearbeitet werden. Im folgenden werden die relevanten Cluster x mit Klima x (abgekürzt Kx) bezeichnet.

4.5 Zusammenfassung

- Der Untersuchungsgegenstand der empirischen Analyse ist gekennzeichnet durch strukturelle Charakteristika und Datenrestriktionen, aus denen sich konkrete Anforderungen sowohl an die in der Analyse anzuwendenden statistischen Verfahren als auch an die Definition geeigneter Indikatorvariablen für anthropogene und natürliche Erosionsdeterminanten ergeben. Wegen anzunehmender Abhängigkeiten unter den Erosionsdeterminanten sind Multikollinearitätsprobleme zu erwarten, die es zu begrenzen gilt. Durch mögliche reziproke Wirkungen der Bodenerosion auf die betrachteten Erosionsdeterminanten sind hingegen keine wesentlichen Verzerrungen zu erwarten. Restriktionen der Datengrundlage bzgl. des Untersuchungszeitraumes und des räumlichen Aggregationsniveaus der Analyse machen es erforderlich, eine Vielzahl von nationalen Indikatorvariablen für Erosionsdeterminanten zu definieren und auch solche Variablen einzubeziehen, die langfristige Entwicklungen und Strukturen widergeben.
- Es wird eine Methodenkombination zusammengestellt, die den genannten Besonderheiten der Fragestellung, des Aggregationsniveaus und der Datenlage Rechnung trägt. Gerade wegen der anzunehmenden Zusammenhänge unter den Variablen für Erosionsursachen sowie wegen des latenten Charakters der meisten Einflußgrößen auf aggregiertem Niveau ist eine Kombination von Methoden der schließenden Statistik mit Methoden der explorativen Datenanalyse sinnvoll. Als analytisches Instrumentarium wird eine spezifische Aufeinanderfolge von Korrelationsanalyse, Faktorenanalyse und Regressionsanalyse gewählt: Ausgehend von einzelnen Hypothesen über den Einfluß bestimmter anthropogener Bedingungen auf Bodenerosion werden diese anhand zahlreicher Indikatorvariablen operationalisiert. Die Informationsbasis wird so gleichzeitig konkretisiert und verbreitert - auch um Irrtümer bei der Indikatorenbestimmung latenter Größen zu vermindern. Diese breite Informationsbasis kann dann dazu genutzt werden, Zusammenhänge unter den ursprünglich angenommenen erosionsbegünstigenden Bedingungen aufzudecken. Anhand der Faktorenanalyse werden diese Zusammenhänge identifiziert und dazu genutzt, die Informationsfülle wiederum zu bündeln, nämlich zu Faktoren. Diese Faktoren unterscheiden sich von den ursprünglich angenommenen erosiven Bedingungen insofern, als sie diese in einen Sinnzusammenhang stellen, der sich aus den tatsächlichen Beziehungen ihrer Indikatorvariablen untereinander ergibt. Welche dieser Faktoren eine Bedeutung für Vorkommen, Art, Ausmaß und Stärke von Bodenerosion in Entwicklungsländern haben und wie relativ groß diese ist, wird für Repräsentanten der einzelnen Faktoren als unabhängige Variablen eines multiplen Regressionsmodells ermittelt. Auf allen Stufen des Analyseprozesses sollen sowohl allgemeine Erosionsursachen als auch spezifische Ursachen für einzelne Erosionsformen und Klimazonen untersucht werden.

- Die nationale Datengrundlage für die Erosionsvariablen wird aus den bereits in Kapitel 2 aggregierten GLASOD-Erosionsindizes abgeleitet. Im Mittelpunkt steht für jedes Land der Anteil der degradierbaren Landesfläche, der gegen Ende der 80er Jahre von Erosion insgesamt bzw. von verschiedenen Erosionsformen betroffen ist. Anhand eines gewichteten Indikators kann auch die Erosionsschwere berücksichtigt werden.
- Für die Einflußgrößen der Bodenerosion wird auf Grundlage internationaler Datensammlungen eine umfangreiche Datenbasis zusammengestellt und an die Fragestellung angepaßt. Bei der Auswahl und Operationalisierung einzelner Variablen steht im Vordergrund, daß sie an den ökologischen Charakter, den Flächenbezug und die zeitliche Dimension der Fragestellung angepaßt sein sollen. Die resultierende Datenbasis enthält ca. 150 Variablen sowohl für anthropogene Rahmenbedingungen (Bevölkerungsdruck, Armut, Preise, Wert der Landnutzung, Unsicherheit), als auch für die natürlichen Bedingungen (Agroklima, Bodeneigenschaften, Hangneigung) und für landnutzerische Größen (Flächennutzungsstruktur, Abholzung, Landnutzungsinintensität, Anbaustruktur). Da Indikatoren und Daten für Unsicherheit und die Art der Landbesitzverhältnisse nur unzureichend verfügbar sind, liegt der Schwerpunkt der empirischen Analyse auf den demographischen, sozialen, ökonomischen und preispolitischen Rahmenbedingungen der Landnutzung in Entwicklungsländern und ihren Wirkungen auf Bodenerosion.
- Neben den allgemeinen Ursachen von Bodendegradation gibt es möglicherweise solche, die für einzelne Klimazonen spezifisch sind. Um diesen spezifischen Ursachen nachzugehen, werden die betrachteten Länder nach klimatischen Kriterien gruppiert. Drei klimatische und zwei weitere Variablen, die sich auf die klimaspezifische Landnutzungsform und unmittelbare Erosionsursache beziehen, werden anhand einer Faktorenanalyse zu einem Faktor gebündelt. Anhand der Faktorwerte werden die Länder dann mit Hilfe einer hierarchischen Clusteranalyse jeweils einer von insgesamt sechs klimatischen Gruppen zugeordnet. Für die empirische Analyse einzelner Klimazonen sind insbesondere die sehr ariden Länder (Cluster 1 und 2), die sehr humiden Länder (Cluster 6) sowie eine Gruppe von Ländern ohne extreme Klimaverhältnisse (Cluster 4) von Bedeutung.

5 Identifizierung möglicher Determinanten der Bodenerosion: Korrelationsanalysen

Die Einfachkorrelationsanalysen dienen in erster Linie einer groben ersten Einschätzung der Zusammenhänge zwischen Bodenerosion und ihren möglichen Determinanten, den Variablen aus dem natürlichen, landnutzerischen, demographischen und sozio-ökonomischen Bereich. Für Variablen, die wegen mangelnder Daten nicht in die multivariaten Analysen einbezogen werden können, sind die Ergebnisse der Korrelationsanalysen gleichzeitig die einzige empirische Basis für Aussagen über ihre mögliche Erosionsrelevanz. In diesem Kapitel wird zunächst auf die Datengrundlage und das methodische Vorgehen eingegangen (5.1), anschließend werden die Ergebnisse der Korrelationsanalysen, differenziert nach Erosionsformen und Klimazonen, vorgestellt (5.2).

5.1 Datengrundlage und angewandte Methoden

Datengrundlage

Es werden alle 143 in Abschnitt 4.2 vorgestellten Indikatorvariablen für natürliche, landnutzerische, sozioökonomische und demographische Rahmenbedingungen bzgl. ihres Zusammenhangs mit der Bodenerosion untersucht. Der Variablensatz ist folgendermaßen strukturiert:

Abbildung 5-1: Datengrundlage für die Einfachkorrelationsanalyse
- Anzahl einbezogener Variablen für natürliche Bedingungen,
Landnutzung und anthropogene Rahmenbedingungen - ¹⁾

NATÜRLICHE BEDINGUNGEN	LANDNUTZUNG	ANTHROPOGENE RAHMENBEDINGUNGEN
Klima 8 Hangneigung 4 Bodeneigenschaften 6	Flächennutzung ²⁾ - Abholzung 4 - Flächennutzungsstruktur 4 Landnutzung ²⁾ - Tierbesatzdichte 10 - Intensität des Landbaus 15 - Anbaustruktur 23	Sozio-ökonomische Bedingungen - Armut 14 - Wert der Landnutzung 2 - Unsicherheit und Landbesitzverhältnisse 5 - Preise 42 ³⁾ Demographische Bedingungen - Bevölkerungsdruck 6

¹⁾....Wachstumsraten, die in Form signifikanter als auch mit nichtsignifikanten Werten vorliegen, werdennur einfach gezählt.

²⁾...Flächennutzung bezieht sich auf die gesamte Landesfläche, Landnutzung i.e.S. auf die landwirtschaftliche Nutzfläche.

³⁾...Hier sind die Preisvariablen für 12 verschiedene Kulturen einbegriffen.

Quelle: eigene Darstellung

Als Indikatoren für Bodenerosion werden drei Indikatoren für die gesamte Erosion gewählt (WEC, WEC_s und WEC 2_4) und drei Indikatoren für jeweils eine Erosionsart (W, E, C).

Daten liegen für eine jeweils unterschiedlich große Anzahl von Ländern vor. Welche Länder jeweils berücksichtigt werden, geht aus Anhang 2 hervor. Extrem kleine Länder und vor allem Inseln werden aus der Analyse von vornherein ausgeschlossen, weil hier die Möglichkeit besteht, daß Ungenauigkeiten bei der Aufteilung der *mapping units* auf verschiedene Länder durch den ARCINFO-*overlay* zu relativ starken Verzerrungen der Erosionsindizes führen. Als Kriterium für die Aufnahme eines Landes wurde eine Mindestgröße von 20.000 km² festgelegt.

Die Verteilung der Variablen wird anhand des *Kolmogorow*-Tests⁹⁵ untersucht, der insbesondere für relativ kleine Stichproben geeignet ist (RÖNZ et al., 1994, S. 187). Es wird die Verteilung sowohl für die Originalwerte der Variablen in der Stichprobe als auch für die mittels des natürlichen Logarithmus transformierten Werte geprüft. Die Transformation der Variablenwerte in logarithmierte Werte wird dabei für den Großteil der Variablen so vorgenommen, daß der Wertebereich derjenigen Variablen, die Werte ≤ 0 einbegreifen, durch Addition des um eins erhöhten kleinsten negativen Wertes zunächst ins Positive transponiert wird.

$$x_i^t = x_i + |x_{\min}| + 1$$

mit:

- x_i^t : transponierter Wert von x_i
 x_{\min} : Betrag des kleinsten negativen Wertes von x_i

Quelle: eigene Darstellung

Bei Variablen, von denen angenommen wird, daß sie strukturelle Null-Werte enthalten, d.h. daß für bestimmte Stichprobenelemente die Variable nur den Wert Null annehmen kann, wird zudem die Stichprobe auf die Elemente mit positiven absoluten Werten begrenzt. Als Beispielvariable kann der von Winderosion betroffene Anteil eines Landes genannt werden: Hier liegt die Vermutung nahe, daß es Länder gibt, die - z.B. aufgrund natürlicher Bedingungen - überhaupt keine Winderosion haben „können“. Eine Untersuchung des Zusammenhangs „Anteil winderodierter Fläche“ und möglicher Determinanten unter Einschluß dieser Länder würde dann zu Inhomogenitätskorrelationen führen. Derartige Länder werden dadurch aus der Stichprobe ausgeschlossen, daß die Werte x_i ohne vorherige Transposition logarithmiert werden.

⁹⁵ Das beschriebene Verfahren wird in der Literatur teilweise auch als *Kolmogorow-Smirnow*-Test bezeichnet.

Für sämtliche Variablen werden folgende Größen daraufhin untersucht, ob sie der Annahme der Normalverteilung widersprechen:

- die Originalwerte x_i für die gesamte Stichprobe,
- der natürliche Logarithmus der (postiven) Originalwerte von x_i für die reduzierte Stichprobe sowie
- der natürliche Logarithmus der transponierten Werte $x_i^T = \ln(x_i^t)$ für die gesamte Stichprobe.

Der *Kolmogorow*-Test prüft die Nullhypothese, daß die Verteilungsform $F(X)$ gleich einer bestimmten vorgegebenen stetigen Verteilungsfunktion F_0 - in diesem Fall eine Normalverteilung - ist. Als Testvariable wird

$$T = \sup |F_n(x) - F_0(x)|$$

Quelle: RÖNZ et al., 1992, S. 185

verwendet⁹⁶. Ist $T > k_{n;1-\alpha}$, so wird H_0 abgelehnt. Dabei ist $k_{n;1-\alpha}$ das Quantil der Ordnung $1-\alpha$ der Verteilung von T und α das Signifikanzniveau. Für $n \rightarrow \infty$ konvergiert die Verteilungsfunktion von $T \cdot \sqrt{n}$ gegen die *Kolmogorow*-Verteilung. Für alle Variablen sind die Signifikanzniveaus α , die für $T = k_{n;1-\alpha}$ gelten (*2-tailed-p*-Werte), als ein Maß für die Verteilungsformen in Tabelle A-5.1 des Anhangs 5 angegeben. Nur bei Werten unter 0,05 kann davon ausgegangen werden, daß die Hypothese der Normalverteilung für die Variablen in der Stichprobe abgelehnt werden muß.

Als Ausgangsvariable für die Berechnung der Korrelationen wird schließlich für jede Variable die Form mit der „besten“, also der Normalverteilung ähnlichsten Verteilung gewählt: x_i , $\ln(x_i)$ oder $\ln(x_i^t)$.

Methodisches Vorgehen

Zur Bestimmung der Stärke des Zusammenhangs zwischen der Bodenerosion und einzelnen Variablen wird der von BRAVAIS und PEARSON eingeführte Maßkorrelationskoeffizient r verwendet, der ein klassisches Maß für die linearen Zusammenhänge unter mindestens intervallskalierten Variablen ist. Als Teststatistik wird die t -Verteilung nach STUDENT herangezogen.

Es werden die Korrelationskoeffizienten der Erosionsdeterminanten sowohl mit dem zusammengefaßten Erosionsindex WEC, als auch mit den Indizes für einzelne Erosionsformen (W, E, C) berechnet. Auf diese Weise können verdeckte Zusammenhänge, die

⁹⁶ *sup*: Supremum

auf differierende Zusammenhänge einzelner Erosionsformen mit bestimmten Determinanten zurückzuführen sind, identifiziert werden. Gerade weil anzunehmen ist, daß die drei Erosionsformen zumindest mit den natürlichen Bedingungen verschieden stark und u.U. entgegengesetzt in Zusammenhang stehen, sollten die Korrelationen nicht nur für die zusammengefaßte Größe WEC, sondern auch für die Indizes der einzelnen Erosionsformen betrachtet werden. Daß diesem differenzierten Vorgehen durch das Aggregationsniveau der Daten bzw. der Untersuchung Grenzen gesetzt sind, wurde an anderer Stelle bereits geschildert: Wenn die Aufsplittung der Erosionsindizes so weit geht, daß schließlich nur noch sehr kleine Anteile der Landesfläche Gegenstand der Untersuchung sind, so wird die „Schere“ zwischen den nationalen Durchschnittswerten für die möglichen Ursachen und den Erosionsvariablen sehr weit. Das bedeutet, daß die geographische Entkopplung von möglichen Determinanten der Bodenerosion und dem Erosionsstandort um so wahrscheinlicher wird, je detaillierter die Erosionsindizes definiert sind.

Weiterhin werden die Korrelationen getrennt für drei Gruppen von Ländern unterschiedlicher Klimazonen analysiert. Grundlage ist die in Kapitel 4 vorgestellte Einteilung der Länder in verschiedene Klimazonen. Untersucht werden 12 sehr aride Länder (K1 und K2), 13 sehr humide Länder (K6) und 26 Länder ohne extremes Klima (K4)⁹⁷. Zu beachten ist bei diesen Analysen aber, daß die Stichproben sehr klein sind und durch fehlende Daten bei den untersuchten Einflußvariablen z.T. noch verringert werden. Da davon ausgegangen werden kann, daß in jeder Klimazone die für sie typische Erosionsform vorkommt, wird als Erosionsindikator WEC gewählt.

5.2 Zusammenhang einzelner Variablen mit Bodenerosion

In den Tabellen 5-1 bis 5-3 sind die Variablen mit signifikanten Korrelationskoeffizienten, deren absolute Werte größer oder gleich 0,3 sind, aufgelistet. Die Variablen sind geordnet nach Art der Rahmenbedingungen (natürlich, landnutzerisch, demographisch / sozioökonomisch). Ebenso sind die jeweilige Fallzahl *n* und die Irrtumswahrscheinlichkeit *p* für jede Korrelation angegeben. Eine Liste sämtlicher Korrelationskoeffizienten befindet sich den Tabellen A-5.2, A-5.3 und A-5.4 des Anhangs 5.

⁹⁷ Eine Liste der Länder befindet sich in Anhang 4, Tabelle A-4.2.

5.2.1 Zusammengefaßte Erosionsindizes

Natürliche Rahmenbedingungen

Unter den Klimavariablen sind diejenigen relativ hoch mit den Erosionsindizes korreliert, die das allgemeine Niederschlagsregime kennzeichnen (PRECIPIT und KP), sowie die, die den Anteil entweder sehr arider oder sehr humider, also extremer Klimate an der Anbaufläche erfassen (AHDSA, H und HFG), und vor allem M_LU3⁹⁸ und M_LU4, die ebendiesen Anteil extremer bzw. marginaler Klimate quantifizieren. Die Bedeutung dieser Variablen läßt insgesamt nach, wenn man den Grad der Bodenerosion mitberücksichtigt (WEC_s und WEC2_4).

Die Variablen, die die Oberbodenmächtigkeit quantifizieren (D1, D4), haben relativ hohe Korrelationskoeffizienten mit den Erosionsindizes. Hier kann allerdings vermutet werden, daß die Korrelation dadurch zustande kommt, daß Bodenerosion definitionsgemäß dem Verlust von Oberboden gleichkommt. Die Korrelation zwischen Bodenerosion und Oberbodenmächtigkeit zeigt, daß auch auf nationaler Aggregationsebene der GLASOD-Datensammlung und die entsprechenden Daten der *Soil Map of the World*, die mit unterschiedlichen Zielsetzungen erhoben wurden, ein Mindestmaß an inhaltlicher Kongruenz aufweisen. Zwischen Bodenart i.S. des Anteils an Lehm- und Tonböden und den Erosionsindizes bestehen nur schwache Zusammenhänge. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, daß für Erosionsprozesse relevante Bodeneigenschaften wie Aggregatstabilität, Textur und Untergrund durch allgemeine Angaben zur Bodenart nicht erfaßt werden können. Von den Hangneigungs-Variablen ist ausschließlich der Anteil extrem steiler Hänge (S3) mit den allgemeinen Erosionsindizes relativ hoch korreliert. Wie auch bei den Klima-Variablen verlieren die dargestellten Zusammenhänge für Bodeneigenschaften und Hangneigung an Stärke, wenn man den Erosionsgrad bei der Quantifizierung des Erosionsindex berücksichtigt.

Landnutzerische Rahmenbedingungen

Die Korrelationskoeffizienten zwischen Bodenerosion und den drei Variablen für die strukturelle, übergeordnete Flächennutzung⁹⁹ entsprechen in ihren Vorzeichen und ihrer Höhe grundsätzlich den Erwartungen: Eine große landwirtschaftliche Nutzfläche (AA_LA) und anderweitig genutztes Land (OL_AA) sowie wenig Wald (FW_LA) stehen in Zusammenhang mit dem flächenhaften Ausmaß der Bodenerosion.

⁹⁸ Bei der Interpretation der Koeffizienten für M_LU3 ist Vorsicht geboten, da die Variable nicht hinreichend normalverteilt ist.

⁹⁹ Der Begriff „übergeordnete Flächennutzung“ grenzt hier die Nutzungsrichtung der gesamten Landesfläche (Wald/landwirtschaftliche Nutzfläche/anderweitig bzw. nicht genutzte Fläche) ab gegen die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen (einjährige Kulturen/Dauerkulturen/Dauergrünland).

Tabelle 5-1: Signifikante Ergebnisse der Korrelationsanalysen für die gesamte Bodenerosion¹⁾

Variable	Korrelationskoeffizient (r), Anzahl betrachteter Fälle (n) und Irrtumswahrscheinlichkeit (p) zwischen den Variablen und								
	Bodenerosion insgesamt - WEC ¹ -			Bodenerosion insgesamt gewichtet nach Schwere - WECs ¹ -			Mittlere bis extrem schwere Bodenerosion - WEC2_4 ¹ -		
	r	n	p	r	n	p	r	n	p
I. NATÜRLICHE RAHMENBEDINGUNGEN									
KLIMA									
PMM_A	-0,38	103	0,00	-0,32	103	0,00			
M_LU3 ¹	0,51	85	0,00	0,44	85	0,00	0,32	85	0,00
M_LU4 ¹	0,36	66	0,00	0,30	66	0,02			
BODENEIGENSCHAFTEN									
T2				0,31	101	0,00			
D1 ¹	0,45	101	0,00	0,40	101	0,00			
D4	-0,35	101	0,00	-0,34	101	0,00			
HANGNEIGUNG									
S3 ¹	0,41	101	0,00	0,42	101	0,00	0,33	101	0,00
II. LANDNUTZERISCHE RAHMENBEDINGUNGEN									
FLÄCHENNUTZUNGSSTRUKTUR									
AA_LA	0,35	102	0,00	0,37	102	0,00	0,32	102	0,00
FW_LA	-0,56	102	0,00	-0,52	102	0,00	-0,44	102	0,00
OL_LA ¹	0,36	102	0,00	0,33	102	0,00			
ABHOLZUNG									
DEFN ¹	0,31	91	0,00	0,36	91	0,00	0,39	91	0,00
ANBAUSTRUKTUR									
MWAP5 ¹	-0,42	68	0,00	-0,42	68	0,00	-0,43	68	0,00
INTENSITÄT DES LANDBAUS									
WYCG	0,32	96	0,00	0,31	96	0,00			
WYCGS	0,33	72	0,01	0,30	72	0,01			
WFER_APS	0,30	86	0,01						
PCP_T	0,61	85	0,00	0,52	85	0,00	0,38	85	0,00
TIERBESATZDICHTEN									
MWAAA ¹							0,37	102	0,00
III. DEMOGRAPHISCHE UND SOZIOÖKONOMISCHE RAHMENBEDINGUNGEN									
BEVÖLKERUNGSDRUCK									
AEZR ¹	-0,72	90	0,00	-0,68	90	0,00	-0,57	90	0,00
MWTP_LA ¹	0,40	102	0,00	0,43	102	0,00	0,38	102	0,00
PREISENTWICKLUNG									
WPBE	-0,41	25	0,04	-0,36	25	0,08			
WPSC	0,34	31	0,06	0,37	31	0,04	0,42	31	0,02
MDG_RI ¹	0,43	49	0,00	0,42	49	0,00			
MDG_SC	0,51	31	0,00	0,42	31	0,02	0,38	31	0,03
MDG_SU	-0,49	24	0,02	-0,49	24	0,02			
VKG_SU ¹	0,38	24	0,07	0,36	24	0,08	0,38	23	0,08

¹⁾ Variablen mit $r_{\text{abs.}} \geq 0,3$ und $p \leq 0,1$. Logarithmierte (ln) Variablen sind mit „¹“ gekennzeichnet.
r: Korrelationskoeffizient; n: Fallzahl; p: Irrtumswahrscheinlichkeit.

Quelle: eigene Berechnungen

Unter den Abholzungsgrößen hat die Variable DEFN die höchsten Korrelationskoeffizienten. Sie quantifiziert den Anteil des Naturwaldes, der zwischen 1981 und 1990 abgeholzt wurde. Im Gegensatz zu den anderen Abholzungs-Variablen ist sie positiv und hoch signifikant mit allen drei Erosionsindizes verbunden. Dies läßt vermuten, daß vor allem der anteilmäßige Verlust des Naturwaldes auf nationalem Aggregationsniveau für das Ausmaß der Bodenerosion wichtig ist. Des weiteren fällt auf, daß die Variable an Bedeutung gewinnt, wenn die Schwere der Bodenerosion mit einbezogen wird¹⁰⁰.

PCP_T, der Grad der Ausnutzung des Anbaupotentials, ist unter den Variablen, die Art und Intensität der landwirtschaftlicher Nutzung eines Landes charakterisieren, besonders hoch mit den Erosionsindizes korreliert. Zwei bzw. drei weitere Variablen für die Intensität des Landbaus, die Ertragsteigerungen der Getreidegruppe II (WYCG und WYCGS) und das Wachstum der Düngungsintensität, haben geringe bis mittlere Korrelationskoeffizienten. Darüber hinaus weist noch der durchschnittliche Anteil der Cassava- und Yamfläche an der gesamten Anbaufläche (MWAP5) mittlere Korrelationskoeffizienten auf. Bei MWAP5 ist die Datengrundlage allerdings als eher schlecht einzuschätzen¹⁰¹.

Bei den Maßen für die Viehbesatzdichte fällt lediglich auf, daß die wenigen Variablen, die gering, aber signifikant mit den Erosionsindizes korreliert sind (MWAAA, MWAPP, WBAAS), bei Berücksichtigung des Erosionsgrades tendenziell an Bedeutung gewinnen.

Demographische und sozioökonomische Rahmenbedingungen

Die mit Abstand am höchsten mit Bodenerosion korrelierte Variable findet sich unter den Variablen für die demographischen Rahmenbedingungen. Sie erfaßt den relativen, auf die agrarökologischen Bedingungen bezogenen Bevölkerungsdruck: die *AEZ-ratio*. Als weitere Variable für den Bevölkerungsdruck hat auch die durchschnittliche Bevölkerungsdichte MWTP_LA relativ hohe Korrelationskoeffizienten.

Weder unter den Indikatoren für Landbesitzverhältnisse, noch unter denen für Armut, die Preisentwicklung, Unsicherheit und den Wert der Landnutzung sind Variablen mit beachtenswerten Korrelationen zu finden. Insbesondere bei den 14 Armutsindikatoren können die durchgehend niedrigen Korrelationskoeffizienten als Hinweis auf die möglicherweise geringe Bedeutung von Armut für das Ausmaß von Bodenerosion gewertet werden.

¹⁰⁰ Anhand der unterschiedlich hohen Korrelationskoeffizienten von DEFN und DEF_AREA mit den Erosionsindizes wird auch deutlich, wie wichtig die Einbeziehung verschiedener Variablen für eine einzige mutmaßliche Einflußgröße der Bodenerosion auf national aggregierter Ebene ist.

¹⁰¹ Die Anbauflächen und damit auch die Anteile an der Anbaufläche sind im Vergleich zu denen der Kulturen der anderen Erosivitätsgruppen extrem klein. Geringe Fehler oder Inhomogenitäten bei der Datenerfassung oder -rundung können deswegen zu verzerrten Korrelationskoeffizienten führen.

5.2.2 Einzelne Erosionsformen

Natürliche Rahmenbedingungen

Die Analyse der Zusammenhänge zwischen Erosionsdeterminanten und Erosionsindizes für verschiedene Erosionsformen macht Unterschiede insbesondere bei den Korrelationskoeffizienten mit den natürlichen Bedingungen deutlich (vgl. Tabelle 5-2).

Der von Wassererosion betroffene Landesanteil (W) ist am stärksten mit dem Anteil subhumider (SH), feucht-semiarider (MSASH) sowie mit dem Anteil stark hängiger Flächen (S3) positiv korreliert. Demgegenüber steht der von Winderosion betroffene Anteil der Landesfläche (E) in engem Zusammenhang mit den Variablen, die die Niederschlagsverhältnisse kennzeichnen: Unter den Ländern, die überhaupt Winderosion aufweisen, steigt das flächenmäßige Ausmaß der Winderosion mit zunehmender Trockenheit (PRECIPIT, KP, AHDSA etc.). Der von Nährstoffverlusten betroffene Flächenanteil steht allein mit dem Anteil humider Landesfläche in signifikantem Zusammenhang.

Landnutzerische Rahmenbedingungen

Für die Zusammenhänge mit den Variablen der Flächennutzung und Abholzung wird deutlich, daß vor allem der Anteil der durch Wind erodierten Fläche an der Landesfläche (E) in Zusammenhang mit dem Anteil Wald an der Landesfläche (FW_LA) steht. Gleichzeitig fällt auf, daß im Gegensatz dazu diejenigen Abholzungsraten, die sich auf die Landesfläche beziehen (DEF_ARE, DEF_ARE1, DIFANT), hohe negative Korrelationskoeffizienten mit dem Winderosionsindex aufweisen. Hier kann eine Gemeinsamkeitskorrelation vermutet werden¹⁰², die darauf zurückgeht, daß es nur in solchen Ländern hohe jährliche Abholzungsraten – gemessen an der Landesfläche – geben kann, in denen der durchschnittliche Waldanteil an der Landesfläche relativ hoch ist. Das Ausmaß der Wassererosion hingegen hängt – wie auch die zusammengefaßten Erosionsindizes – mit der Abholzungsrate, die sich auf den Anteil der Waldfläche bezieht (DEFN), sowie mit der relativen Größe der landwirtschaftlichen Nutzfläche (AA_LA) zusammen. Wiederum lassen sich Zusammenhänge für die von Nährstoffverlusten betroffene Fläche kaum erkennen¹⁰³.

¹⁰² Diese Art formaler Korrelation wird durch eine „hinter“ zwei Größen stehende Größe erzeugt, mit der sie beide korrelieren (vgl. KÖHLER, 1984, S. 52, sowie Fußnote auf S. x).

¹⁰³ Die drei Korrelationskoeffizienten mit Werten größer 0,2 (s. Anhang x) ergeben dennoch bzgl. ihrer Vorzeichen ein widerspruchsfreies Bild: Ein hoher Anteil von Nährstoffverlusten betroffener Landesfläche geht einher mit einer relativ großen landwirtschaftlichen Nutzfläche und einer relativ kleinen Waldfläche sowie mit eher hohen Wachstumsraten der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

**Tabelle 5-2: Signifikante Ergebnisse der Korrelationsanalysen für Wassererosion (W), Winde-
rosion (E) und den Verlust an Nährstoffen und organischer Substanz (C)¹⁾**

Variable	Korrelationskoeffizient (r), Anzahl betrachteter Fälle (n) und Irrtumswahrscheinlichkeit (p) für mögliche Erosionsdeterminanten und								
	Wassererosion - W' -			Winde- rosion - E' -			Verlust von Nährstoffen und org. Substanz - C' -		
	r	n	p	r	n	p	r	n	p
I. NATÜRLICHE RAHMENBEDINGUNGEN									
KLIMA									
AHDSA'				0,66	42	0,00			
SH	0,34	82	0,00	-0,53	42	0,00			
MSASH	0,30	82	0,01	-0,35	42	0,02			
H'				-0,70	42	0,00	0,30	58	0,02
M_LU3'				0,64	42	0,00			
M_LU4'				0,60	40	0,00			
BODENEIGENSCHAFTEN									
T2	0,31	99	0,00						
T3'				-0,40	49	0,01			
D1'				0,36	49	0,01			
D4				-0,46	49	0,00			
HANGNEIGUNG									
S1	-0,39	99	0,00						
S2_3	0,44	99	0,00	-0,33	49	0,02			
S3'	0,57	99	0,00						
II. LANDNUTZERISCHE RAHMENBEDINGUNGEN									
FLÄCHENNUTZUNGSSTRUKTUR									
AA_LA	0,31	98	0,00				0,31	65	0,01
FW_LA				-0,64	50	0,00			
OL_LA'				0,57	50	0,00			
ABHOLZUNG									
DEFN'	0,37	88	0,00						
DEF_ARE'				-0,63	44	0,00			
DIFANT'				-0,60	44	0,00			
ANBAUSTRUKTUR									
PC_AA'				-0,37	50	0,01			
AR_AA'	0,39	98	0,00						
ARPC_AA'	0,37	98	0,00						
WARE'	-0,35	97	0,00						
WAR_AA	-0,33	92	0,00						
WARPC_AA	-0,30	82	0,01						
MWAP1'				-0,39	29	0,04			
MWAP12'				-0,38	42	0,01	0,31	58	0,02
MWAP5'	-0,37	65	0,00	-0,56	26	0,00			
W1S							-0,36	31	0,05
W5S'							-0,31	42	0,04
VKINFL'	-0,37	81	0,00	0,31	44	0,04			

¹⁾.... Variablen mit $r_{\text{abs.}} \geq 0,3$. Logarithmierte (ln) Variablen sind mit „' „ gekennzeichnet.

.....r: Korrelationskoeffizient; n: Fallzahl; p: Irrtumswahrscheinlichkeit. Preisvariablen mit Fallzahlen

.....kleiner 25 sind nicht mit aufgelistet.

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 5-2: (Fortsetzung)

Variable ¹⁾	Korrelationskoeffizient (r), Anzahl betrachteter Fälle (n) und Irrtumswahrscheinlichkeit (p) für mögliche Erosionsdeterminanten und								
	Wassererosion - W' -			Winderosion - E' -			Verlust von Nährstoffen und org. Substanz - C' -		
	r	n	p	r	n	p	r	n	p
II. LANDNUTZERISCHE RAHMENBEDINGUNGEN (Fortsetzung)									
INTENSITÄT DES LANDBAUS									
MWYCE'				-0,30	48	0,04			
WYCG				-0,34	48	0,02			
WYCGS				-0,30	37	0,07			
MWWY				-0,31	42	0,05			
WTR_AAS				0,37	50	0,01			
WTR_APS				0,30	48	0,04			
WFER_APS				0,39	43	0,01			
CI	0,41	82	0,00						
PCP_T	0,30	82	0,01	0,53	42	0,00			
TIERBESATZDICHTEN									
MWAAA'	0,37	98	0,00						
MWAPP'	0,39	98	0,00						
MWBAA'	0,40	98	0,00	-0,47	50	0,00			
MWBPP'	0,41	98	0,00	-0,47	49	0,00			
III. DEMOGRAPHISCHE UND SOZIOÖKONOMISCHE RAHMENBEDINGUNGEN									
BEVÖLKERUNGSDRUCK									
AEZR'	-0,46	86	0,00	-0,56	44	0,00	-0,30	63	0,02
MWTP_LA'	0,62	98	0,00	-0,35	50	0,01	0,38	65	0,00
PDA'	0,30	96	0,00						
LANDBESITZVERHÄLTNISSE									
LL_AP'	0,44	32	0,01	-0,52	15	0,05	-0,34	23	0,11
NOM_AP'	-0,32	10	0,36				-0,32	4	0,68
ARMUT									
RP_N				-0,30	43	0,05			
WCAL				0,39	48	0,01			
WCALS				0,42	43	0,01			
FVP				-0,50	22	0,02			
MWGINI'				-0,37	15	0,18			
PREISENTWICKLUNG									
DGWP	-0,42	56	0,00	0,50	28	0,00			
WPCO	-0,33	32	0,06						
WPMA	-0,30	51	0,03						
WPTO_DIF	0,35	29	0,07						
WERT DER LANDNUTZUNG									
VAPHA'				-0,32	40	0,04			
UNSICHERHEIT / LANDBESITZVERHÄLTNISSE									
VKINFL'	-0,37	81	0,00	0,31	44	0,04			

¹⁾.... Variablen mit $r_{\text{abs.}} \geq 0,3$. Logarithmierte (ln) Variablen sind mit „' „ gekennzeichnet.

.....r: Korrelationskoeffizient; n: Fallzahl; p: Irrtumswahrscheinlichkeit. Preisvariablen mit Fallzahlen

.....kleiner 25 sind nicht mit aufgelistet.

Quelle: eigene Berechnungen

Ähnlich wie bei den natürlichen Bedingungen fällt bei den Korrelationen mit einigen Variablen der Anbaustruktur, -intensität und Viehbesatzdichte auf, daß Höhe und Vorzeichen der Korrelationskoeffizienten für die verschiedenen Erosionsformen unterschiedlich bzw. entgegengesetzt sind. Als Beispiele hierfür sind die Koeffizienten mit den Variablen, die die Flächenanteile von einjährigen Kulturen (AR_AA), Dauerkulturen (PC_AA, ARPC_AA) und damit auch indirekt der Dauergrünlandfläche an der landwirtschaftlichen Nutzfläche erfassen, zu nennen: Die relative Wassererosionsfläche und die Fläche mit Nährstoffverlusten sind mit den drei Variablen positiv und teilweise hoch signifikant korreliert¹⁰⁴, die relative Winderosionsfläche hingegen negativ. Das könnte auch die durchweg niedrigen und nicht signifikanten Korrelationen der genannten Größen mit den zusammengefaßten Erosionsindizes WEC etc. erklären.

Desgleichen sind einige der Variablen für die Art der angebauten Kulturen mit dem Winderosionsindex korreliert: Länder mit einem großen von Winderosion betroffenen Flächenanteil bauen im Durchschnitt der Jahre weniger Dauerkulturen (MWAP1, MWAP12, PC_AA) und Cassava (MWAP5) an. Dies kann wiederum als Hinweis auf eine enge Verbindung zwischen klimatischen Bedingungen, angebauten Kulturen und dem Ausmaß einer bestimmten Erosionsform – in diesem Fall der Winderosion – gedeutet werden.

Auch bei den Koeffizienten für die Intensität des Landbaus sind einige Vorzeichen für die verschiedenen Erosionsformen entgegengesetzt, oder aber die Koeffizienten variieren stark in Höhe und Signifikanz. Wiederum sind die Länder mit viel Winderosion eher gekennzeichnet durch geringe durchschnittliche Getreideerträge und geringes Ertragswachstum im Referenzzeitraum (MWYCE, MWYCG, WYCE, WYCG, WYCGS, MWWY), durch eine geringe Produktionsmittel- und Arbeitsintensität im Durchschnitt der Jahre (FER_AA, FER_WB, TR_AA, LAB_SF) sowie durch eher hohe Wachstumsraten der Faktorintensitäten (WFER_APS, WTR_APS, WTR_AAS). Für das Ausmaß an Wassererosion sind diese Größen entweder bedeutungslos oder sie haben entgegengesetzte Vorzeichen. Im Gegensatz zur Winderosion kommt bei Betrachtung des Wassererosionsindexes auch der Anbauintensität CI Bedeutung zu. CI hat mit W sogar den höchsten Korrelationskoeffizienten unter den Variablen für die Intensität des Landbaus. Der Grad der Ausnutzung des Anbaupotentials PCP_T ist die einzige der landnutzerischen Variablen, die mit allen drei Erosionsformen signifikant und mit gleichgerichtetem, positivem Vorzeichen in Zusammenhang steht¹⁰⁵. Für das Ausmaß der Winderosion ist der Koeffizient mit 0,53 am höchsten, aber immer noch niedriger als für den zusammengesetzten Erosionsindikator WEC.

¹⁰⁴ Mit dem Anteil Dauergrünland sind sie insofern negativ korreliert, als ARPC_AA das Komplement zu PP_AA darstellt, die Summe der beiden Variablenwerte ist immer 100.

¹⁰⁵ Der Korrelationskoeffizient mit C ist nicht in Tabelle 5-3 enthalten, er beträgt 0,27 (n = 58, p = 0,04).

Entgegengesetzte Vorzeichen der Korrelationskoeffizienten einzelner Variablen mit den verschiedenen Erosionsformen finden sich auch bei den Viehbesatzdichten. Insbesondere das Ausmaß der Wassererosion ist positiv korreliert mit der Viehbesatzdichte im Durchschnitt der Jahre (MWAAA etc.), während das Ausmaß Winderosion negativ vor allem mit der Dichte großer Tiere (MWBAA, MWBPP) in Zusammenhang steht.

Demographische und sozioökonomische Rahmenbedingungen

Unter den Korrelationen mit den demographischen Variablen sind - wie bei den zusammengesetzten Erosionsindizes - besonders diejenigen zwischen den Erosionsindizes und der *AEZ-ratio* (AEZR) sowie der durchschnittlichen Gesamtbevölkerungsdichte (MWTP_LA) interessant. Die *AEZ-ratio* ist neben PCP_T die einzige, mit der alle drei Erosionsindizes gleichgerichtet, d.h. mit dem gleichen Vorzeichen, signifikant und relativ hoch korrelieren. Das läßt sich dahingehend deuten, daß sowohl die *AEZ-ratio* als auch der Grad der Ausnutzung des Anbaupotentials eine übergeordnete Bedeutung für Bodenerosion insofern haben, als sie relativ unabhängig von der jeweiligen Erosionsform sind. Die Tatsache, daß der Korrelationskoeffizient zwischen AEZR und WEC¹⁰⁶ höher ist (-0,72) als die Koeffizienten bei Betrachtung einzelner Erosionsformen, könnte in der geographischen Entkopplung begründet sein, die eine Aufspaltung in einzelne Erosionsindizes und damit in kleinere Landesanteile mit sich bringt.

Die zweite relevante Bevölkerungsdruckvariable, MWTP_LA, steht mit W, E und C in unterschiedlichem, z.T. entgegengesetztem Zusammenhang: Die von Wassererosion und Nährstoffverlusten betroffenen Flächenanteile steigen mit der durchschnittlichen Dichte der Gesamtbevölkerung, während Winderosion vor allem dort vorkommt, wo wenig Menschen pro Hektar leben. Auch hier ist dementsprechend auf eine mögliche Gemeinsamkeitskorrelation zu achten. Schließlich wird in ähnlicher Weise wie bei den verschiedenen Abholzungs-Variablen deutlich, daß es beträchtliche Unterschiede bei den Korrelationen der Bodenerosion auch mit Variablen geben kann, die dieselbe Erosionsdeterminante auf unterschiedliche Weise quantifizieren. Insofern ist die Analyse mehrerer, unterschiedlicher Variablen hier essentiell.

Bei den Variablen, die als Proxis für die Landbesitzverhältnisse dienen, ist vor allem der Zusammenhang zwischen dem Anteil Landloser an der landwirtschaftlichen Bevölkerung (LL_AP) und dem Anteil wassererodierter Fläche (W) interessant. Die entsprechenden negativen Koeffizienten für den Anteil winderozierter Fläche (E) und C sind schwer deutbar. Hier muß berücksichtigt werden, daß das Problem der Landlosigkeit in ariden Ländern mit Winderosion generell eher bedeutungslos ist und daß die Stichproben relativ klein bzw. im Fall der Winderosion sehr klein sind.

¹⁰⁶ Auch die Korrelationskoeffizienten zwischen AEZR und den anderen zusammengefaßten Erosionsindizes sind höher.

Im Unterschied zu den zusammengefaßten Erosionsindizes sind einige der Armutsindikatoren signifikant mit den partiellen Erosionsindizes korreliert. Die Richtung der Korrelationskoeffizienten steht ausnahmslos im Widerspruch zu der Hypothese, daß Armut bzw. die Armen eine wesentliche Ursache der Bodenerosion sind. Dies wird besonders für die Korrelationen mit dem Anteil winderodierter Fläche deutlich: Hier gehen ein geringer Anteil Armer und *functionally vulnerable population* an der ländlichen Bevölkerung (RP_N, FVP) und hohe Wachstumsraten der allgemeinen Kalorienversorgung (WCAL, WCALS) einher mit einem hohen Ausmaß Winderosion. Daß der Gini-Koeffizient (MWGINI) negativ mit Winderosion korreliert ist, kann an Verzerrungen durch die kleine Stichprobe liegen. Ferner könnte wiederum eine klimatisch bedingte Gemeinsamkeitskorrelation vorliegen, da viele der ariden afrikanischen Länder, in denen ein großer Teil der Fläche von Winderosion betroffen ist, vergleichsweise flache Einkommensverteilungen haben - z.B. Äthiopien, Niger, Nigeria, Ägypten. Demgegenüber weisen eher gemäßigte bis humide mittel- und südamerikanische Länder mit wenig Winderosion, wie Guatemala, Uruguay, Kolumbien, Ecuador oder Brasilien, sehr hohe Gini-Koeffizienten auf.

Interessant ist, daß die Variable, die sich auf die aggregierte Agrarpreisentwicklung im Referenzzeitraum bezieht, DGWP, sowohl mit dem Anteil wassererodierter als auch winderodierter Fläche relativ hoch korreliert ist - und zwar einmal mit positivem und einmal mit negativem Vorzeichen. Wörtlich genommen bedeutet das, daß ein hoher Anteil wassererodierter Fläche zusammenhängt mit tendenziell gesunkenen Produzentenpreisen, während ein hoher Anteil winderodierter Fläche mit gestiegenen Produzentenpreisen zusammenhängt¹⁰⁷. Es könnte hier vermutet werden, daß das Klima Verursacher einer Gemeinsamkeitskorrelation ist. Auch wenn nur für 56 Länder Daten über die Preisentwicklung vorliegen, soll deshalb der Gesamtzusammenhang von DGWP mit den anderen Variablen untersucht werden.

Schwach mit dem Ausmaß der Winderosion korreliert sind weiterhin die durchschnittliche Wertschöpfung in der Landwirtschaft (MWVAPHA, negativ) und der Variationskoeffizient der Inflationsraten (VKINFL, positiv). Die Vorzeichen der entsprechenden Korrelationskoeffizienten sind für Wassererosion umgekehrt.

¹⁰⁷ Bei dem Korrelationskoeffizienten mit Winderosion ist allerdings wiederum die geringe Stichprobengröße zu beachten.

5.2.3 Verschiedene Klimazonen

Natürliche Rahmenbedingungen

Generell ist bei der Interpretation der Korrelationskoeffizienten für verschiedene Klimagruppen auf die geringe Stichprobengröße hinzuweisen. Erwartungsgemäß verlieren bei der Betrachtung klimatisch relativ homogener Ländergruppen die klimatischen Bedingungen gegenüber der Betrachtung der einzelnen Erosionsformen an Bedeutung (vgl. Tabelle 5-3). Vor allem in den sehr ariden Ländern fällt auf, daß weder die Niederschlagsverhältnisse noch die Bodeneigenschaften oder die Hangneigung etwas mit dem Ausmaß der Bodenerosion zu tun haben. Bei der mittleren Klimagruppe ist – wie bei WEC für alle Länder – ein relativ starker Zusammenhang mit dem Vorherrschen extremer Klimate (M_LU3 und M_LU4) zu erkennen, während in den sehr humiden Ländern vor allem der Anteil subhumider Anbauflächen wichtig ist (SH). Unter den Variablen für Bodeneigenschaften hängt ein hoher Anteil Lehm- und Tonböden bzw. ein geringer Sandanteil (T1) mit der Bodenerosion in mittleren Klimazonen zusammen. In sehr humiden Ländern steigt das Ausmaß der Bodenerosion mit dem Anteil Lehmböden und von Böden geringer Mächtigkeit (D1). Die Hangneigung der Flächen (S1 etc.) ist sowohl im mittleren als auch im humiden Bereich eng an das Ausmaß der Bodenerosion gekoppelt.

Landnutzerische Rahmenbedingungen

Entgegen den vorherigen Vermutungen bzgl. einer Gemeinsamkeitskorrelation zwischen Waldanteil und Bodenerosion, die sich daraus ergibt, daß Waldanteil und Klima sowie Klima und Bodenerosion in Zusammenhang stehen, ist der durchschnittliche Waldanteil in allen drei Klimazonen von großer Bedeutung für das Ausmaß der Bodenerosion. Das bedeutet insbesondere für die ariden Länder, daß sich hinter der Korrelation zwischen FW_LA und WEC bzw. E nicht die klimatischen Bedingungen verbergen, sondern daß ein geringer Waldanteil – der gewissermaßen auch die Abholzung früherer Perioden widerspiegelt – in allen Klimazonen einhergeht mit mehr Bodenerosion. Ebenso tragen die Korrelationskoeffizienten mit der Abholzungsrate DEFN für alle drei Klimagruppen positive Vorzeichen, sie sind jedoch nur für mittlere und sehr humide Klimate signifikant und $< 0,3$. Für die sehr humiden Länder ist der Koeffizient mit 0,76 fast der höchste in dieser Klimazone und für DEFN wesentlich höher als bei allen vorangegangenen Korrelationsanalysen.

In den sehr ariden Ländern haben die Variablen für Anbaustruktur und -intensität bis auf die Intensivierung des Düngemiteleinsatzes (WFER_AP) keine signifikante Bedeutung. Das könnte auch daran liegen, daß in diesen Ländern die Flächenanteile einjähriger Kulturen und von Dauerkulturen zu gering sind, um in Zusammenhang mit der gesamten Bodenerosion zu stehen. Wichtig ist gerade hier, wo Bodenerosion durch Überweidung vermutet werden könnte, daß die Viehbesatzdichten in keinem Fall mittel

oder hoch mit Bodenerosion korreliert sind.

Tabelle 5-3: Signifikante Ergebnisse der Korrelationsanalysen für Bodenerosion in verschiedenen Klimazonen¹⁾

Variable	Korrelationskoeffizient (r), Anzahl betrachteter Fälle (n) und Irrtumswahrscheinlichkeit (p) für mögliche Erosionsdeterminanten und								
	Bodenerosion insgesamt in ariden Ländern (K12)			Bodenerosion insgesamt in Ländern der mittleren Klimagruppe (K4)			Bodenerosion insgesamt in humiden Ländern (K6)		
	r	n	p	r	n	p	r	n	p
I. NATÜRLICHE RAHMENBEDINGUNGEN									
KLIMA									
SH							0,66	13	0,01
MSASH							0,63	13	0,02
HFG´							-0,58	13	0,04
M_LU3´				0,62	26	0,00			
M_LU4´				0,53	16	0,03			
BODENEIGENSCHAFTEN									
T1´				-0,68	26	0,00			
T2							0,60	13	0,03
D1´				0,33	26	0,10	0,61	13	0,03
D4				-0,33	26	0,10			
HANGNEIGUNG									
S1				-0,56	26	0,00			
S2´				0,38	26	0,06			
S2_3				0,54	26	0,00			
S3´				0,59	26	0,00	0,75	13	0,00
II. LANDNUTZERISCHE RAHMENBEDINGUNGEN									
FLÄCHENNUTZUNGSSTRUKTUR									
AA_LA				0,67	26	0,00	0,57	13	0,04
FW_LA	-0,58	12	0,05	-0,74	26	0,00	-0,64	13	0,02
OL_LA´				0,39	26	0,05	0,53	13	0,06
ABHOLZUNG									
DEFN´				0,40	26	0,04	0,76	13	0,00
DEFT							0,73	13	0,01
DEF_ARE´							0,64	13	0,02
DIFANT´							0,56	13	0,05
ANBAUSTRUKTUR									
PC_AA´				0,64	26	0,00			
AR_AA´				0,48	26	0,01			
ARPC_AA´				0,53	26	0,01			
MWAP3							-0,56	13	0,05
MWAP4				0,42	26	0,03	0,54	13	0,06
MWAP5´				-0,56	26	0,00			
WAHK3´	-0,51	12	0,09						
WAHK4							0,55	13	0,05

¹⁾ ..Variablen mit $r_{abs.} \geq 0,3$ und $p \leq 0,1$. Logarithmierte (ln) Variablen sind mit „´“ gekennzeichnet.

.....r: Korrelationskoeffizient; n: Fallzahl; p: Irrtumswahrscheinlichkeit.

²⁾ ..Wegen der geringen Fallzahlen wurde bei den Indikatorvariablen für die Preisentwicklung einzelnerProdukte auf eine nach Klimazonen differenzierte Korrelationsanalyse verzichtet.

Tabelle 5-3: (Fortsetzung)

Variable	Korrelationskoeffizient (r), Anzahl betrachteter Fälle (n) und Irrtumswahrscheinlichkeit (p) für mögliche Erosionsdeterminanten und								
	Bodenerosion insgesamt in ariden Ländern (K12)			Bodenerosion insgesamt in Ländern der mittleren Klimagruppe (K4)			Bodenerosion insgesamt in humiden Ländern (K6)		
	r	n	p	r	n	p	r	n	p
II. LANDNUTZERISCHE RAHMENBEDINGUNGEN (Fortsetzung)									
INTENSITÄT DES LANDBAUS									
MWYCE´							-0,47	13	0,10
WYCG							0,52	13	0,07
WFER_APS	0,57	12	0,06						
LAB_SF							0,55	12	0,06
CI				0,64	26	0,00			
PCP_T				0,77	26	0,00			
TIERBESATZDICHTEN									
MWAAA´				0,58	26	0,00			
MWAPP´				0,55	26	0,00			
MWBAA´				0,52	26	0,01			
MWBPP´				0,53	26	0,01			
WAAAS				-0,50	26	0,01			
WAPPS				-0,34	26	0,09			
WBAAS				-0,53	26	0,01			
WBPPS				-0,38	23	0,08			
WSAAS				-0,38	22	0,08			
III. DEMOGRAPHISCHE UND SOZIOÖKONOMISCHE RAHMENBEDINGUNGEN									
BEVÖLKERUNGSDRUCK									
AEZR´	-0,54	12	0,07	-0,78	26	0,00	-0,67	13	0,01
MWTP_LA´				0,77	26	0,00	0,64	13	0,02
PDA´				0,60	26	0,00			
WTP							0,75	13	0,00
WRP							0,77	13	0,00
ARMUT									
RP_AREA´				0,41	18	0,09			
RP_AA´				0,57	26	0,00			
CAL´				-0,40	26	0,05			
FVP				0,45	20	0,05			
PREISENTWICKLUNG ²⁾									
DGWP				-0,59	19	0,01			
WERT DER LANDNUTZUNG									
VAPHA´				0,59	26	0,00			
WVAPHA´									
UNSIKERHEIT / LANDBESITZVERHÄLTNISSE									
VKINFL´							-0,77	13	0,00

¹⁾ ..Variablen mit $r_{\text{abs.}} \geq 0,3$ und $p \leq 0,1$. Logarithmierte (ln) Variablen sind mit „´“ gekennzeichnet.
r: Korrelationskoeffizient; n: Fallzahl; p: Irrtumswahrscheinlichkeit.

²⁾ ..Wegen der geringen Fallzahlen wurde bei den Indikatorvariablen für die Preisentwicklung einzelnerProdukte auf eine nach Klimazonen differenzierte Korrelationsanalyse verzichtet.

Quelle: eigene Berechnungen

Hingegen nimmt in der Gruppe von Ländern mit mittlerem Klima Bodenerosion mit steigenden durchschnittlichen Viehbesatzdichten zu. Wichtig sind in diesen Ländern weiterhin vor allem der Ausschöpfungsgrad des Anbaupotentials PCP_T, der Anteil Ackerland und Dauerkulturen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche sowie die Anbauintensität CI. Gleichzeitig hat die Anbaustruktur i.S. des Anteils mehr oder weniger erosiver Kulturen an der Anbaufläche Bedeutung. Nach der Erosivitätsklasse „5“ für Cassava und Yam umfaßt die Klasse „4“ die erosivsten Kulturen, darunter vorwiegend Grundnahrungskulturen (MWAP4). Je höher der Anteil dieser Kulturen an der Anbaufläche strukturell, also im Durchschnitt der Jahre, desto höher der Anteil der von Erosion betroffenen Flächen.

Für die humiden Länder hat die Variable MWAP4 einen ähnlich hohen Korrelationskoeffizienten. Dort steht darüber hinaus auch die Zunahme der Fläche, die mit den erosiven Kulturen bebaut wird, in Zusammenhang mit Bodenerosion. Interessant ist weiterhin, daß hier die Arbeitskraftverfügbarkeit in kleineren landwirtschaftlichen Betrieben mit dem Ausmaß der Bodenerosion verbunden ist. Möglicherweise ist das Vorhandensein von ausreichend Arbeitskräften auf Betriebsebene eine Voraussetzung der Rodung und landwirtschaftlichen Nutzung von Waldflächen.

Die *AEZ-ratio* hat in allen drei Klimazonen eine ähnlich große Bedeutung wie bei der Betrachtung aller Länder - d.h. auch innerhalb einzelner agrarökologischer Zonen steht der Grad der Ausnutzung des Tragfähigkeitspotentials in engem Zusammenhang mit der Bodenerosion. Die durchschnittliche Bevölkerungsdichte (MWTP_LA) ist in den mittleren und humiden Ländern fast ebenso hoch mit Bodenerosion korreliert, in der Gruppe der ariden Länder hat sie keine Bedeutung. In den humiden Ländern ist auch das Wachstum sowohl der gesamten (WTP) als auch der ländlichen Bevölkerung (WRP) signifikant und hoch mit dem Erosionsausmaß korreliert.

Demographische und sozioökonomische Rahmenbedingungen

In den Ländern mittleren Klimas sind Zusammenhänge zwischen einzelnen Armutsindikatoren und Bodenerosion zu erkennen. Relativ hohe Korrelationen bestehen zwischen dem Ausmaß erodierter Fläche und dem Anteil *functionally vulnerable population* an der ländlichen Bevölkerung (FVP, positiv), dem Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche, der von Armen bewirtschaftet wird (RP_AREA, positiv) sowie der durchschnittlichen Kalorienversorgung der Bevölkerung (CAL, negativ). Daß die Dichte armer Menschen (RP_AA) den höchsten Korrelationskoeffizienten aufweist, darf nicht überschätzt werden, weil hier vermutet werden kann, daß Zusammenhänge zwischen RP_AA und der allgemeinen Bevölkerungsdichte Grund für eine formale Korrelation ist.

Entgegen obigen Vermutungen bzgl. einer möglichen, in den klimatischen Bedingungen begründeten Gemeinsamkeitskorrelation zwischen der Preisentwicklung (DGWP) und Bodenerosion steht DGWP auch in dieser Gruppe klimatisch relativ homogener Länder

in engem Zusammenhang mit der Bodenerosion. Obwohl sich dieser Korrelationskoeffizient aus Daten für nur 19 Länder ergibt, kann dementsprechend angenommen werden, daß auch unabhängig von klimatischen Bedingungen die Produzentenpreisentwicklung für die wichtigsten Agrarprodukte eines Landes mit dem Anteil erodierter Fläche zusammenhängt. Des weiteren ist der Wert der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Durchschnitt der Jahre (MWVAPHA) positiv mit dem Erosionsindex korreliert.

Diese und andere sozioökonomischen Bedingungen stehen weder für die sehr ariden noch für die sehr humiden Länder in Zusammenhang mit dem Ausmaß der Bodenerosion. Einzig der Variationskoeffizient der Inflationsrate, VKINFL, ist negativ mit Erosion in humiden Ländern korreliert.

5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

- Der Zusammenhang zwischen dem Ausmaß von Bodenerosion und natürlichen Bedingungen ist erwartungsgemäß von der betrachteten Erosionsform abhängig und für einzelne Klimazonen typisch.
- Zwei Variablen sind unabhängig von der Erosionsart und der Klimazone, d.h. bei sämtlichen Analysen signifikant und relativ hoch mit dem Ausmaß der Bodenerosion korreliert:
 - der Bevölkerungsdruck, vor allem i.S. der Ausschöpfung der agrarökologischen Tragfähigkeit (*AEZ-ratio*). Auch die Bevölkerungsdichte im Durchschnitt der Jahre ist für alle Analysen außer bei der Betrachtung sehr arider Länder relevant.
 - der Anteil Waldfläche an der Landesfläche im Durchschnitt der Jahre 1961-1990.
- Neben den natürlichen Bedingungen sind einige der landnutzerischen Variablen nur für bestimmte Erosionsformen und Klimazonen von Bedeutung:
 - In allen drei Klimazonen und bei ausschließlicher Betrachtung der Wassererosion ist die Abholzungsrate DEFN (1981-1990) mit dem Ausmaß der Bodenerosion hoch korreliert, insbesondere in den sehr humiden Ländern. Der Anteil der Landesfläche hingegen, der in diesem Zeitraum abgeholzt wurde, ist bedeutungslos.
 - In der mittleren Klimazone mit viel Ackerbau und Dauerkulturen steht Bodenerosion mit den beiden Intensitätsmaßstäben CI und PCP_T in Zusammenhang. CI erfaßt den Ende der 80er Jahre verbleibenden Spielraum für eine Intensivierung durch Bracheverkürzung, PCP_T den zu derselben Zeit verbleibenden Spielraum für eine Ausdehnung der Produktionsflächen.
 - In mittleren und humiden Klimazonen und bei ausschließlicher Betrachtung der Wassererosion ist der durchschnittliche Anteil eher erosiv wirkender Nahrungskulturen an der Anbaufläche mit dem Ausmaß der Bodenerosion korreliert.

- Die durchschnittliche Viehbesatzdichte steht nur in der mittleren Klimazone mit Bodenerosion in Zusammenhang. Für die „klassischen“, ariden Überweidungsländer läßt sich kein Zusammenhang nachweisen. Es ist allerdings analog zum Bevölkerungsdruck durchaus vorstellbar, daß eine Art *AEZ-ratio* für den Tierbesatz den tatsächlichen Druck auf das Dauergrünland besser wiedergeben könnte.
- Unter den sozioökonomischen Variablen sind nur wenige mit dem Ausmaß der Bodenerosion korreliert:
- Einige Armutsvariablen zeigen ausschließlich für die mittlere Klimazone relativ niedrige Korrelationen mit dem Ausmaß der Bodenerosion. In den ariden Ländern und bei Betrachtung der Winderosion kommen hingegen sogar signifikante Korrelationen mit „verkehrtem“ Vorzeichen vor, d.h. hier gehen hohe Armutsniveaus einher mit relativ wenig Bodenerosion.
- In der mittleren Klimazone stehen tendenziell sinkende Produzentenpreise für Agrarprodukte in Zusammenhang mit dem Ausmaß der Bodenerosion. Gleichzeitig geht hier ein hoher durchschnittlicher Wert der Landnutzung pro Hektar ($\bar{}$ 1961-1990) mit viel Bodenerosion einher.
- Der Anteil Landloser an der landwirtschaftlichen Bevölkerung ist ausschließlich in sehr humiden Ländern und bei Betrachtung der Wassererosion von Bedeutung.
- Für Wassererosion und in sehr humiden Ländern stehen niedrige Schwankungen der Inflationsraten in Zusammenhang mit einem großen Ausmaß von Bodenerosion. Diese Korrelation kann nicht gedeutet werden.
- Die Berücksichtigung der Schwere der Bodenerosion verändert Höhe und Signifikanz der Korrelationen bei den zusammengefaßten Erosionsindizes nur unwesentlich.
- Insgesamt scheinen die Variablen mit strukturellem Charakter, d.h. die entweder als Durchschnitte über den Referenzzeitraum von 30 Jahren definiert sind, oder aber das Ergebnis einer vermutlich längerfristigen Entwicklung wiedergeben (wie z.B. die *AEZ-ratio*, CI, PCP_T), mehr Bedeutung für das Ausmaß der Bodenerosion zu haben als die Variablen, die die Veränderungen im Referenzzeitraum erfassen.

Insofern vermögen die Ergebnisse der Korrelationsanalysen einen ersten Überblick über die Zusammenhänge zwischen der Vielzahl betrachteter Indikatorvariablen und Bodenerosion zu geben; hinsichtlich der sozioökonomischen Rahmenbedingungen weisen sie vor allem auf die herausragende Bedeutung des Bevölkerungsdrucks für Bodenerosion hin und darauf, daß anhand der zur Verfügung stehenden Armutsindikatoren Zusammenhänge zwischen Armut und Bodenerosion nicht nachweisbar sind. Bei der Interpretation der Ergebnisse wird detulich, daß in etlichen Fällen von formalen Korrelationen ausgegangen werden kann, die aus Zusammenhängen unter den Indikatorvariablen für mögliche Erosionsdeterminanten resultieren. Diese Zusammenhänge und Strukturen werden im folgenden Kapitel analysiert.

6 Strukturierung möglicher Determinanten: Faktorenanalysen

Ziel der in diesem Kapitel vorgestellten Faktorenanalysen ist die Aufdeckung und Strukturierung der Zusammenhänge unter der Vielzahl von Indikatorvariablen für mögliche Determinanten der Bodenerosion. Dies ist einerseits die Grundlage für die Reduktion der Variablenanzahl bei gleichzeitiger Verringerung von Multikollinearitätsproblemen und damit eine notwendige Voraussetzung für die sinnvolle Anwendung regressionsanalytischer Methoden. Andererseits ist die Analyse der Strukturen unter den Erosionsdeterminanten die Basis für eine umfassende Interpretation erosionsrelevanter Faktoren. Gerade weil viele der Indikatorvariablen für anthropogene Rahmenbedingungen und Landnutzung die Agrarentwicklung kennzeichnen, die in den vergangenen Jahrzehnten in Entwicklungsländern stattgefunden hat, können erkennbare Strukturen oder Entwicklungsmuster unter diesen Variablen wertvolle Hinweise für die Interpretation erosionsrelevanter Größen in der nachfolgenden Regressionsanalyse sein.

Im ersten Abschnitt erfolgt die Darstellung der allgemeinen Vorgehensweise bei der Faktorenanalyse anhand der Hauptkomponentenmethode (6.1). Es folgt die Erläuterung der für die Fragestellung gewählten spezifischen Vorgehensweise (6.2). Schließlich werden die Ergebnisse der durchgeführten Faktorenanalysen für das vollständige Variablenmodell sowie für verschiedene Ausgangsvariablensets vorgestellt und eingehend interpretiert (6.3).

6.1 Die Faktorenanalyse anhand der Hauptkomponentenmethode

Analyseverfahren, die mit dem Sammelbegriff Faktorenanalyse i.w.S. bezeichnet werden, sind grundsätzlich multivariate, strukturenentdeckende Verfahren. Sie haben zum Ziel, eine größere Menge beobachteter Variablen auf Grundlage der Untersuchung ihrer Zusammenhänge auf möglichst wenige, voneinander unabhängige hypothetische Größen, die *Faktoren* oder *Hauptkomponenten*, zurückzuführen (vgl. OST, 1984, S. 575 und 640; ÜBERLA, 1977, S. 3 und 85).

Die Entstehungsgeschichte der Faktorenanalyse geht auf die im Rahmen der Intelligenzforschung von SPEARMAN entwickelte und 1904 vorgestellte Zwei-Faktoren-Theorie zurück¹⁰⁸. Diese Theorie beruht auf der Annahme der Existenz eines allgemeinen Intelligenzfaktors, der alle betrachteten Variablen - in diesem Falle Intelligenztests - beeinflusst, sowie jeweils eines weiteren, für eine bestimmte Leistung - einen Intelligenztest - spezifischen Faktors. Da im Laufe der folgenden Jahrzehnte die Vorstellung eines einzigen allgemeinen Faktors immer unhaltbarer wurde, mündete die Weiterentwicklung der Zwei-Faktoren-Theorie in der von THURSTONE begründeten multiplen Faktorenanalyse, welche die Extraktion mehrerer gemeinsamer und spezifischer Faktoren aus

¹⁰⁸ SPEARMAN (1904), zitiert in ÜBERLA, 1977, S. 8.

jedweder Korrelationsmatrix erlaubt¹⁰⁹. Diese von THURSTONE entwickelte Form der Faktorenanalyse im engeren Sinne ist vom Grundsatz her auch heute noch allgemein üblich. Auf ihrer Grundlage wurden z.B. die Maximum-Likelihood-Faktorenanalyse, die Kanonische Faktorenanalyse und die Image-Analyse entwickelt¹¹⁰. Gewissermaßen parallel zu der Entstehung der Faktorenanalyse wurde die Hauptkomponentenanalyse zunächst als eigenständiges Verfahren entwickelt¹¹¹. Ohne auf die Diskussion über Nomenklatur und Rangordnung der beiden Analysearten einzugehen, sei angemerkt, daß die Hauptkomponentenmethode sich als wichtigstes Verfahren der Faktorextraktion im Rahmen der Faktorenanalyse erwiesen hat¹¹². Insgesamt unterscheiden sich die verschiedenen faktorenanalytischen Verfahren vor allem darin, ob sie die Ausgangsvariablen - bzw. deren Varianz - durch die extrahierten Faktoren vollständig erklären (z.B. bei der Hauptkomponentenmethode) oder ob sie auch nicht erklärte Einflüsse zulassen (z.B. bei der Hauptachsenmethode). Des weiteren werden Faktorenanalysen danach unterschieden, ob sie eher explorativen oder konfirmativen Charakter haben (vgl. McDONALD, 1985, S. 1, 50 ff., 96 ff.). Im folgenden steht die explorative Faktorenanalyse anhand der Hauptkomponentenmethode (*exploratory common factor analysis*) im Vordergrund.

Nachdem die Faktorenanalyse zunächst in dem Fachgebiet angewendet wurde, aus dem heraus sie entwickelt wurde, der Psychologie, wurde sie in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts zunehmend auch zur Aufdeckung von Zusammenhängen in der Soziologie, der Medizin und den Wirtschaftswissenschaften eingesetzt (Beispiele hierfür finden sich bei ÜBERLA, 1977, S. 6 f.). Im Gegensatz zu vielen naturwissenschaftlichen Fragestellungen, bei denen es um Wirkungszusammenhänge einer oft relativ geringen Zahl von Variablen geht, für die im Optimalfall ein vorab spezifiziertes theoretisches Modell existiert, ist in den genannten Fachgebieten zur Erklärung bestimmter Phänomene in der Regel eine Vielzahl möglicher Einflußgrößen zu berücksichtigen. Die Reduktion der Anzahl dieser meist auch untereinander in Zusammenhang stehenden potentiellen Einflußgrößen macht eine sinnvolle Kausalanalyse oft erst möglich (vgl. FLURY, 1988, S.2; BACKHAUS et al., 1994, S.189).

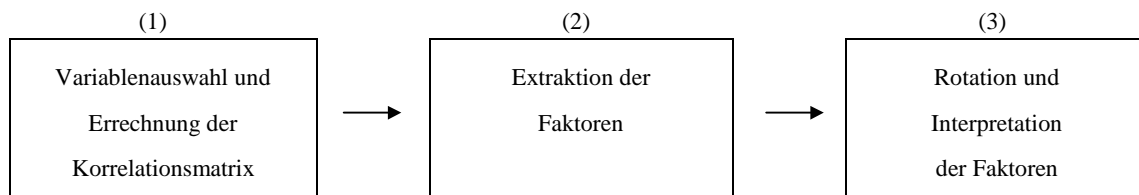
Im wesentlichen umfaßt die Faktorenanalyse die in Abbildung 6-1 dargestellten drei Teilschritte: (1) die Auswahl von Ausgangsvariablen, die dem Gegenstand der Untersuchung angemessen sind, (2) die Extraktion von Faktoren aus den Ausgangsvariablen und (3) die Interpretation der Faktoren. Das allgemeine Vorgehen bei diesen drei Teilschritten wird im folgenden vorgestellt.

¹⁰⁹ THURSTONE (1945), zitiert in ÜBERLA, 1977, S. 9.

¹¹⁰ Eine Beschreibung dieser und anderer Verfahren findet sich bei OST, 1984, in FAHRMEIR und HAMERLE, 1984, S. 583 ff..

¹¹¹ HOTELLING (1933).

¹¹² Vgl. ÜBERLA, 1977, S. 88; JOLIFFE, I.T., 1986, S. 123 ff.

Abbildung 6-1: Teilschritte der Faktorenanalyse

Quelle: eigene Darstellung nach BACKHAUS et al., 1994, S. 197

(1) Auswahl von Ausgangsvariablen

“Es kann nicht genug davor gewarnt werden, planlos gesammelte Daten einer Faktoren-analyse zu unterwerfen und zu hoffen, daß ein vorhandenes Standardprogramm sinnvolle Resultate bringt.“ (ÜBERLA, 1977, S. 4)

Obwohl die Auswahl von Variablen für die Güte der Ergebnisse einer Faktorenanalyse eine Hauptrolle spielt (vgl. auch ÜBERLA, 1977, S. 255), werden in der Literatur die einzelnen Anforderungen an die Ausgangsvariablen nur selten konkretisiert. Während BACKHAUS et al. die Relevanz der Variablen für den Untersuchungsgegenstand und die Zuverlässigkeit der entsprechenden Daten als entscheidende Kriterien hervorheben (vgl. BACKHAUS et al., 1994, S. 198), führt ÜBERLA weiter aus:

„Wenn ein zu untersuchender Sachbereich definiert ist, gibt es eine Grundgesamtheit denkbarer und möglicher Variabler, die mit diesem Bereich zu tun haben.[...] Aus der Grundgesamtheit von Variablen wird eine repräsentative Stichprobe gewählt, die den gesamten Bereich gleichmäßig überdeckt. [...] Wenn dies nicht der Fall ist, müssen sich notwendigerweise bestimmte Einflüsse der Analyse entziehen, andere werden mehr in den Vordergrund treten.“ (ÜBERLA, 1977, S. 254)

Über die von BACKHAUS et al. geforderte Relevanz der Variablen hinaus sollen die Variablen also auf **repräsentative** Weise alle denkbaren relevanten Variablen **gleichmäßig** abdecken¹¹³. Dieser Aspekt wird deshalb besonders hervorgehoben, weil in der vorliegenden Analyse einerseits bewußt in Kauf genommen wird, daß einzelne relevante

¹¹³ Wie wichtig dieses Kriterium ist, zeigt ÜBERLA an einem einfachen Beispiel: *„Wenn man eine Variable dreimal bestimmt und als drei verschiedene Variablen in eine Faktorenanalyse einbezieht, erhält man einen gemeinsamen Faktor, der lediglich diese drei Variablen verbindet. Er wäre nicht aufgetreten, wenn man die Variable nur einmal verwendet hätte. Die Faktorenanalyse sieht die beobachteten Variablen immer als gegeben an und arbeitet für diese Variablen - und nur für diese - eine einfache Hypothese heraus. Wenn die beobachteten Variablen keine repräsentative Stichprobe aus einem vorher abgesteckten sachlichen Bereich darstellen, kann man nicht erwarten, daß die Methode alle in diesem Bereich wirksamen Zusammenhänge aufdeckt. Sie analysiert lediglich die formalen Relationen der beobachteten Variablen und ist damit ganz auf die Vorentscheidung über die zu untersuchenden Variablen angewiesen. Eine Generalisierung der Faktoren ist immer nur auf die Grundgesamtheit von Variablen möglich, deren Stichprobe man der Analyse unterzogen hat.“* (ÜBERLA, 1977, S. 255)

Variablen nicht berücksichtigt werden können. Dadurch erfolgt die Variablenauswahl ungleichmäßig. Andererseits werden, ebenfalls bewußt, die meisten - latenten - Einflußgrößen der Bodenerosion mehrfach definiert und können deshalb formal korreliert sein. Diese Tatsache wird insbesondere bei der Gestaltung des faktorenanalytischen Vorgehens berücksichtigt, das im folgenden Abschnitt vorgestellt wird.

Weiterhin wird es als wünschenswert angesehen, daß die Stichprobe, der die Untersuchungsobjekte entstammen, möglichst homogen ist, und - in Verbindung damit - daß die Variablen in der untersuchten Stichprobe annähernd normalverteilt sind¹¹⁴. Grund hierfür ist, daß die Höhe der Korrelationen zwischen den Variablen durch den Homogenitätsgrad der Stichprobe beeinflußt wird. Dennoch ist die Normalverteilung der Variablen keinesfalls eine notwendige Bedingung für die erfolgreiche Durchführung der Faktorenanalyse (vgl. BACKHAUS et al., 1994, S. 198; ÜBERLA, 1977, S. 310, 116 f.).

Während es in erster Linie dem sachlogischen Urteil des Analysten überlassen sein muß, über Relevanz und Repräsentativität der zu integrierenden Variablen zu entscheiden, wurden zur Beurteilung der eher „technischen“ Eignung bestimmter Variablengruppen für die Faktorenanalyse eine Reihe von Verfahren entwickelt, die letztlich alle auf der Korrelationsmatrix der Variablen beruhen. Bei dieser technischen Beurteilung geht es vor allem darum festzustellen, in welchem Umfang die ausgewählten Variablen zusammengehören, und dementsprechend einen Anhaltspunkt dafür zu bekommen, ob eine Faktorenanalyse erfolgversprechend¹¹⁵ erscheint. Von den verschiedenen Tests seien an dieser Stelle die beiden bewährtesten, der Bartlett-Test (auch *Bartlett test of sphericity*) und das Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium, die *measure of sampling adequacy* (MSA), genannt.

Anhand des Bartlett-Tests wird unter Zugrundelegung einer bestimmten Irrtumswahrscheinlichkeit untersucht, ob die Korrelationsmatrix der Variablen signifikant von einer Einheitsmatrix abweicht oder nicht. Als Prüfgröße wird folgender Wert herangezogen:

$$T = - \left[(N - 1) \cdot \frac{1}{6} (2P + 5) \right] \cdot \ln |R|$$

mit:

N : Umfang der Stichprobe
 P : Anzahl der Variablen
 |R| : Determinante der Korrelationsmatrix¹¹⁶.

¹¹⁴ Bzw. daß die Hypothese der Normalverteilung nicht abgelehnt werden muß.

¹¹⁵ Damit ist gemeint, daß die Zahl der extrahierten Faktoren bei einem gleichzeitig hohen Anteil erklärter Gesamtvarianz möglichst klein ist.

¹¹⁶ Die Determinante |R| einer Matrix entspricht dem absoluten Wert der Fläche des von den Vektoren

Je höher der Wert der Prüfgröße bei gegebener Irrtumswahrscheinlichkeit ausfällt, desto eher weicht die Korrelationsmatrix von der Einheitsmatrix ab, d.h. sind die Variablen untereinander korreliert. Die Ablehnung der Nullhypothese, daß die Korrelationsmatrix einer Einheitsmatrix entspricht, ist als eine Art Untergrenze für die Eignung eines Variablen-Sets für die Faktorenanalyse anzusehen¹¹⁷. Der Bartlett-Test setzt allerdings voraus, daß die Variablen in der Erhebungsgesamtheit annähernd normalverteilt sind und die entsprechende Prüfgröße annähernd χ^2 -verteilt ist.

Die *measure of sampling adequacy*, MSA, ist eine Prüfgröße, die auf Basis der Anti-Image-Korrelationsmatrix¹¹⁸ sowohl für die Gesamtheit der Variablen als auch für jede einzelne Variable anzeigt, inwieweit sie für eine Faktorenanalyse geeignet sind. Die MSA beschreibt das Verhältnis der nicht-diagonalen Koeffizienten der Korrelationsmatrix und der entsprechenden Koeffizienten der Anti-Image-Korrelationsmatrix zueinander. Für die Gesamtheit der zu prüfenden Variablen lautet sie¹¹⁹:

$$MSA = \frac{\sum_{j \neq k} r_{jk}^2}{\sum_{j \neq k} r_{jk}^2 + \sum_{j \neq k} q_{jk}^2},$$

mit:

r^2 : quadrierte Korrelationskoeffizienten der nicht-diagonalen Elemente der ursprünglichen Korrelationsmatrix,

q^2 : quadrierte Koeffizienten der Anti-Image-Korrelationsmatrix.

Die MSA kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Je größer die quadrierten Koeffizienten der Anti-Image-Korrelationsmatrix q^2 im Verhältnis zu den Korrelationskoeffizienten r^2 sind, desto näher liegt die MSA bei Null. Nach KAISER und RICE (1970) werden die MSA-Werte meist wie folgt beurteilt:

der Matrix aufgespannten Parallelogramms. Je höher die Korrelation zweier Vektoren bzw. Variablen, desto näher liegt $|R|$ bei Null. Vgl. GREENE, 1997, S. 23 f..

¹¹⁷ S. DZIUBAN und SHIRKEY, 1974, S. 358 und 360.

¹¹⁸ Bei der auf GUTTMANN (1953) zurückgehenden Image-Analyse wird davon ausgegangen, daß sich die Varianz einer Variablen in zwei Teile zerlegen läßt, das Image und das Anti-Image. Das Image ist der Varianzanteil, der durch die anderen Variablen mit Hilfe einer Regressionsanalyse erklärt werden kann, das Anti-Image entspricht dem Varianzanteil, der von den anderen Variablen unabhängig ist. Die Variablen sind umso höher korreliert, je näher die nicht-diagonalen Elemente der Anti-Image-Korrelationsmatrix bei Null liegen (BACKHAUS et al., 1994, S. 204).

¹¹⁹ Vgl. DZIUBAN und SHIRKEY, 1974, S. 359.

Tabelle 6-1: Wertebereiche der *Measure of Sampling Adequacy* und Beurteilung nach KAISER und RICE

Wertebereich	Beurteilung	(deutsch)
$\geq 0,9$	<i>marvellous</i>	(erstaunlich)
$\geq 0,8$	<i>meritorious</i>	(verdienstvoll)
$\geq 0,7$	<i>middling</i>	(ziemlich gut)
$\geq 0,6$	<i>mediocre</i>	(mittelmäßig)
$\geq 0,5$	<i>miserable</i>	(kläglich)
$< 0,5$	<i>unacceptable</i>	(untragbar)

Quelle: BACKHAUS et al., 1994, S. 205

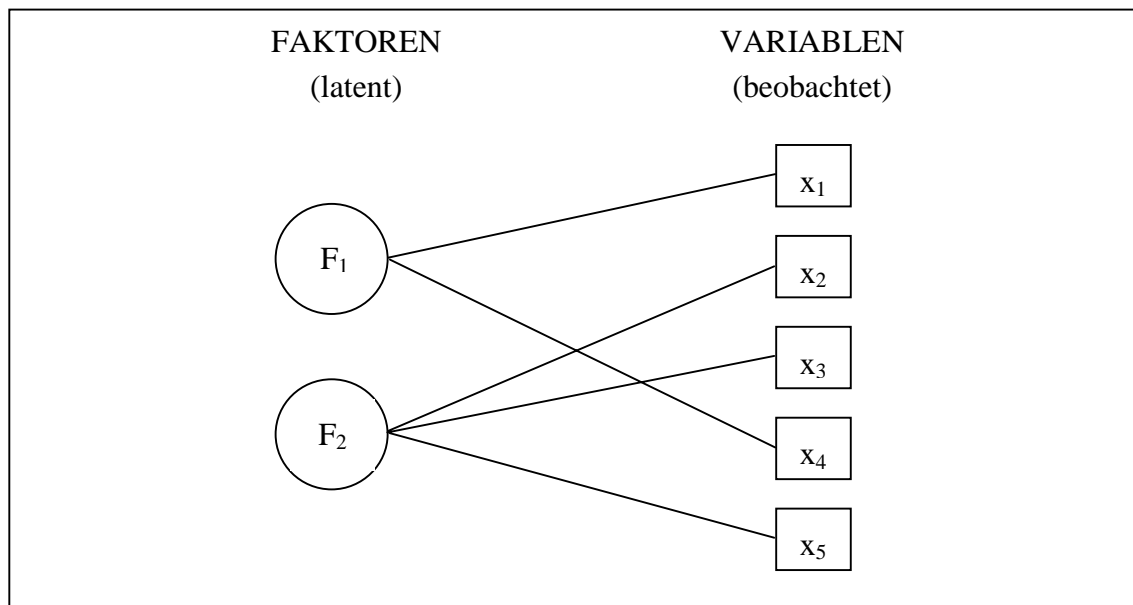
Abschließend sei nochmals darauf hingewiesen, daß die beiden vorgestellten Prüfgrößen zwar Anhaltspunkte für die allgemeinen Erfolgsaussichten einer Faktorenanalyse anhand bestimmter Variablen geben können - die vor allem zu der Zeit wichtig waren, als Faktorenanalysen mit einem hohen rechentechnischen Aufwand verbunden waren. Entscheidend für die Aussagekraft der Ergebnisse einer Faktorenanalyse sind aber vielmehr die eingangs genannte Relevanz und Repräsentanz der ausgewählten Variablen für den Untersuchungsgegenstand.

(2) Faktorextraktion anhand der Hauptkomponentenmethode

Die Extraktion der Faktoren aus den derart bestimmten Ausgangsvariablen erfolgt in Anlehnung an die Sichtweise, die der Faktorenanalyse zugrundeliegt. ÜBERLA beschreibt sie folgendermaßen (vgl. auch Abbildung 6-2):

„Das faktorenanalytische Modell geht immer [...] davon [aus], daß das Meßbare nur eine Erscheinungsform von Größen ist, die im Hintergrund stehen und die man direkt nicht messen kann. Diese Annahme ist in vielen Fällen realistisch.“ (ÜBERLA, 1977, S. 2).

Abbildung 6-2: Strukturelle Hypothesen über die Beziehungen von Faktoren und Variablen im faktoranalytischen Modell

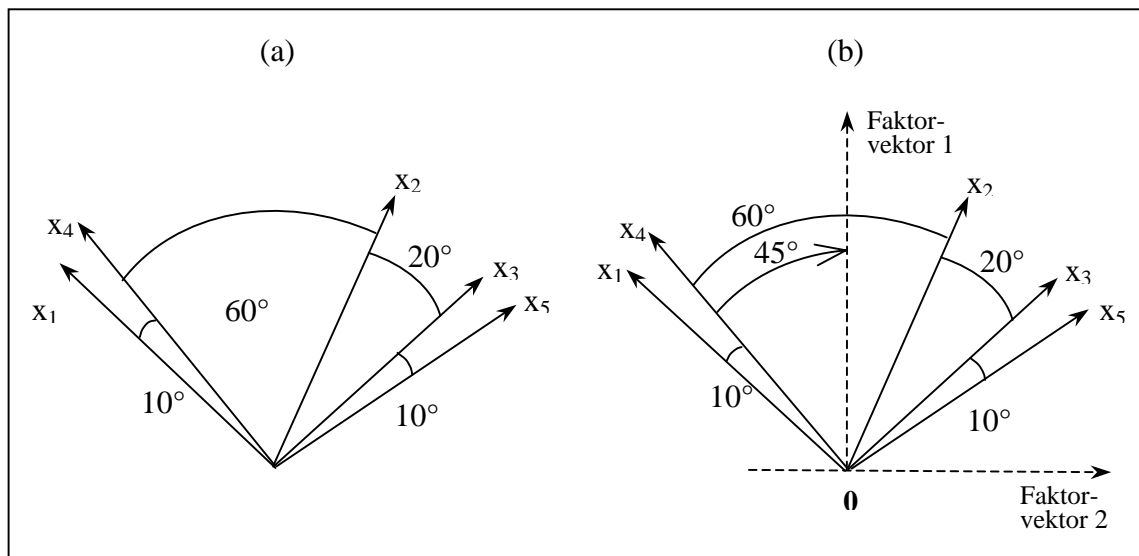


Quelle: ÜBERLA, 1977, S. 56

In Analogie dazu ist die mathematische Grundidee - und gleichzeitig das Ziel - der Faktorenanalyse, daß jeder Beobachtungswert einer Variablen - bzw. der entsprechende standardisierte Wert - sich als Linearkombination mehrerer, voneinander unabhängiger hypothetischer Faktoren beschreiben läßt. Davon abgeleitet, besagt das Fundamentaltheorem der Faktorenanalyse, daß sich die Korrelationsmatrix einer bestimmten Anzahl betrachteter Variablen reproduzieren läßt durch eine andere Matrix, in der die Korrelationen zwischen hypothetischen Faktoren und den einzelnen Variablen enthalten sind - der *Faktorladungsmatrix*. Dieses Theorem läßt sich graphisch besonders gut anhand eines Vektor-Diagramms darstellen, in dem die Korrelationskoeffizienten als Winkel zwischen Vektoren ausgedrückt und dargestellt sind (s. Abbildungen 6-3 (a) und (b) auf der folgenden Seite).

Geht man vereinfachend von zwei hinter den Variablen stehenden Faktoren aus, die die Variationen in den Korrelationskoeffizienten vollständig zu erklären vermögen, so erfolgt deren Extraktion derart, daß der erste Faktor sich als Resultante aus den fünf dargestellten Vektoren ergibt, der zweite, der ja von dem ersten unabhängig sein soll, wiederum durch die Errichtung eines zum ersten Faktor orthogonalen Vektors (vgl. Abbildung 6-3 (b)). Ebenso, wie die Winkel zwischen den Variablenvektoren ihren Korrelationen untereinander entsprechen, stellt jeder Winkel zwischen einem Variablenvektor und einem Faktorvektor deren Korrelation, die *Faktorladung* einer bestimmten Variablen „auf“ einen bestimmten Faktor, dar.

**Abbildung 6-3: Graphische Darstellung der Vektoren im 5-Variablen-Beispiel
(a) ohne und (b) mit resultierenden Faktoren**



Quelle: eigene Darstellung nach BACKHAUS et al., 1994, S. 214 f.

Ausgehend von diesem Grundprinzip ist das Ziel der Faktorextraktion anhand der Hauptkomponentenanalyse die Zusammenfassung und Reproduktion einer gesamten Datenstruktur durch möglichst wenige Faktoren. Wie eingangs erwähnt, wird – im Gegensatz zur Hauptachsenanalyse – die Varianz jeder Ausgangsvariable vollständig durch die gemeinsamen Faktoren erklärt¹²⁰ (vgl. BACKHAUS et al., 1994, S. 221 ff.).

Für die Entscheidung darüber, wie viele Faktoren extrahiert werden sollen, gibt es bei der explorativen Faktorenanalyse keine allgemeingültigen Kriterien. Prinzipiell lassen sich bei Anwendung der Hauptkomponentenmethode zwei Arten von Kriterien unterscheiden, die sich beide auf die von den Faktoren erklärte Gesamtvarianz beziehen (vgl. HILDEBRANDT und FRANKE, 1988, S. 83). Eines ist die Vorgabe eines bestimmten Anteils der Gesamtvarianz, der durch die zu extrahierenden Faktoren insgesamt erklärt werden soll. Andererseits kann ein Mindestbetrag für den durch die einzelnen Faktoren erklärten Anteil an der Gesamtvarianz festgelegt werden. Dieser Anteil wird anhand des *Eigenwertes* gemessen. Der Eigenwert eines Faktors entspricht der Summe der quadrierten Faktorladungen eines Faktors über alle Variablen. So tragen Faktoren, die hohe Faktorladungen mit vielen Variablen haben, zur Erklärung der Gesamtvarianz viel bei und haben dementsprechend hohe Eigenwerte. Gemäß dem Kaiser-Kriterium z.B. ist die Zahl der zu extrahierenden Faktoren gleich der Anzahl der Faktoren mit einem Eigenwert

¹²⁰ Darstellungen der mathematischen Vorgehensweise im einzelnen finden sich bei McDONALD, 1985, S. 50 ff. und 93 ff.; FAHRMEIR und HAMERLE, 1984, S. 577 ff. und 595 ff., JOLIFFE, 1986, S. 117 ff.

größer als eins¹²¹. In jedem Fall ist die graphische Darstellung der Eigenwerte aller Faktoren hilfreich: Aus *scree-plots* läßt sich ersehen, wie viele Faktoren mit jeweils welchen Eigenwerten welchen Anteil der Gesamtvarianz aller Variablen erklären können. Gerade bei der explorativen Faktorenanalyse ist es wichtig, nicht nur ein einzelnes Entscheidungskriterium zuzulassen, sondern verschiedene Kriterien einfließen zu lassen (vgl. ÜBERLA, 1977, S. 138), so daß die Datenstruktur schließlich anhand möglichst weniger Faktoren hinreichend und klar wiedergegeben wird.

Für einige Fragestellungen ist es darüber hinaus interessant, jedem Untersuchungsobjekt konkrete Werte bzgl. der Ausprägung der extrahierten Faktoren, die *Faktorwerte*, zuzuordnen. Da die Faktorenanalyse darauf beruht, daß jeder Beobachtungswert der Ausgangsvariablen sich als Linearkombination der extrahierten Faktoren beschreiben läßt, ist es - andersherum - grundsätzlich möglich, diese Werte anhand der Ausgangsdaten und der Faktorladungen auszudrücken¹²².

(3) Interpretation der Faktoren

Bei der Interpretation der extrahierten Faktoren steht - unabhängig davon, ob eine Hauptachsen- oder Hauptkomponentenanalyse durchgeführt wird - im Vordergrund, einen gemeinsamen Tenor für jede Gruppe von Variablen zu suchen, welche wegen ihrer Faktorladungen einem Faktor zuzuordnen sind (vgl. OST, 1984, S. 616).

Um die Zuordnung der Variablen zu bestimmten Faktoren zunächst zu vereinfachen, besteht die Möglichkeit, das Koordinatenkreuz, in dem die Variablen als Vektoren abgebildet sind, in seinem Ursprung zu rotieren (vgl. Abbildung 6-4). Die Aussagekraft der Analyse bleibt hierdurch unverändert. Für die Faktorladungen hat eine Rotation zur Folge, daß sie u.U. eindeutiger auf den Zusammenhang einzelner Variablen mit bestimmten Faktoren hinweisen. Idealerweise führt die Rotation zu einer *Einfachstruktur* der Faktorladungsmatrix, bei der die Variablen immer nur auf einen Faktor hoch laden und auf alle anderen niedrig - was in der Praxis äußerst selten vorkommt (vgl. ÜBERLA, 1977, S. 178). Da grundsätzlich unendlich viele Rotationsmöglichkeiten bestehen, stellt sich wiederum die Frage nach einem geeigneten Rotationsverfahren. Besonders geeignet zur explorativen Aufdeckung linearer Strukturen ist die Varimax-Rotation, bei der unter Beibehaltung des rechtwinkligen Koordinatenkreuzes die Varianz der quadrierten Faktorladungen jedes Faktors maximiert wird¹²³. Sie führt zu einer im orthogonalen Sinne

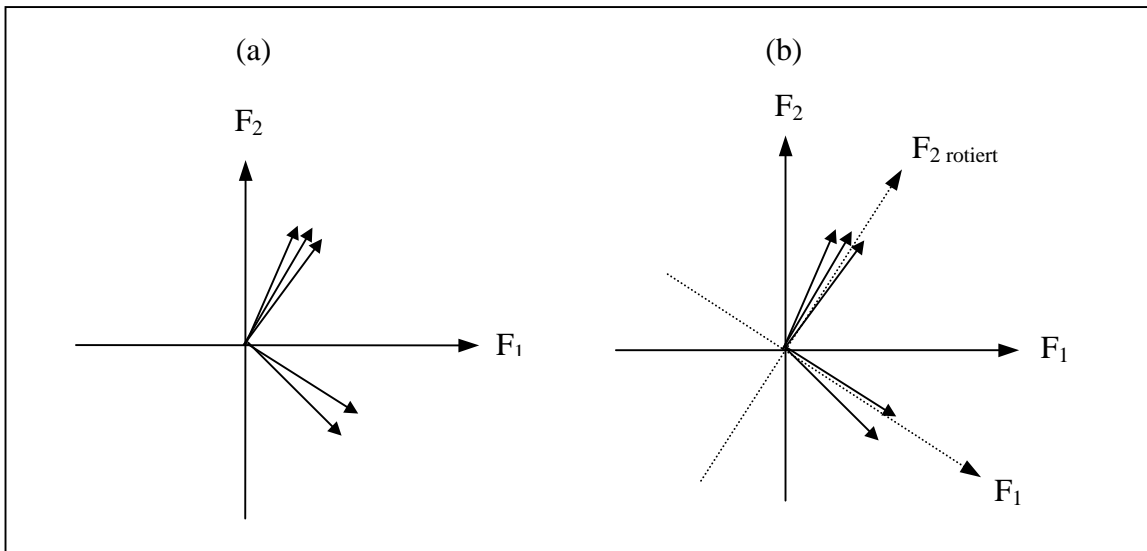
¹²¹ Die Begründung hierfür ist, daß ein Faktor, dessen Varianzerklärungsanteil über alle Variablen kleiner als eins ist, weniger Varianz erklärt als eine einzelne Variable, denn die Varianz einer standardisierten Variable beträgt ja gerade eins (BACKHAUS et al., 1994, S. 225).

¹²² Ein rechentechnisches Problem dabei ist, daß die Faktorladungsmatrix nicht quadratisch ist, weil die Anzahl der Faktoren kleiner ist als die der Ausgangsvariablen. Deswegen werden zusätzlich Schätzverfahren zur Bestimmung der Faktorwerte herangezogen (vgl. BACKHAUS et al., 1994, S. 231 f.).

¹²³ Damit wird erreicht, daß die Ladungen der Variablen auf einen Faktor „polarisiert“ werden, d.h. möglichst nahe bei 1 und nahe Null sind (vgl. HILDEBRANDT und FRANKE, 1988, S. 88).

besonders eindeutigen Lösung. Möglich sind aber auch schiefwinklige Rotationen, bei denen die Unabhängigkeitsprämisse der Faktoren aufgegeben wird (vgl. ÜBERLA, 1977, S. 75, 165 ff.; BACKHAUS et al., 1994, S. 227 ff.).

Abbildung 6-4: Unrotierte (a) und rotierte (b) Faktorladungen



Quelle: eigene Darstellung nach BACKHAUS et al., 1994, S. 229

Über diese eher technische Interpretationshilfe hinaus werden in der Literatur wenig Anhaltspunkte für die Deutung der extrahierten Faktoren gegeben. OST schlägt vor:

„...aus den Hochladungen der rotierten Ladungsmatrix, etwa den Ladungen l_{ij} mit $|l_{ij}| > 0,5$, [kann man] entnehmen, welche Variablen mit welchen Faktoren verwandt sind, welche Variablen gemeinsam von einem Faktor bestimmt werden, durch welche Variablen also ein Faktor am besten zu beschreiben ist. So lassen sich Gruppenfaktoren am besten benennen. [...] Bei Variablen, die von mehreren Faktoren deutlich beeinflusst werden, ist auf jeden dieser Faktoren ein Teil der inhaltlichen Bedeutung der Variablen zurückzuführen, was mehr oder weniger gut gelingen mag.“ (OST, in FAHRMEIR und HAMERLE, 1984, S. 616).

6.2 Spezifisches Vorgehen zur Strukturierung der Erosionsdeterminanten

Als Methode zur Strukturierung der Variablen für mögliche Erosionsdeterminanten wird die dargestellte explorative, deskriptive Faktorenanalyse anhand der Hauptkomponentenmethode angewandt.

Die Entscheidung über die Anzahl zu extrahierender Faktoren erfolgt einerseits anhand der durch die Faktoren erklärten Gesamtvarianzanteile und des Kaiser-Kriteriums. Andererseits wird die Beurteilung verschiedener Lösungen mit einer jeweils vorgegebenen Anzahl von Faktoren hinzugezogen, da diese die Datenstruktur möglicherweise eindeutiger wiedergeben. Im Vordergrund steht bei dieser Vorgehensweise die möglichst klare Wiedergabe der Datenstruktur durch voneinander weitgehend unabhängige Faktoren, deren Anzahl prinzipiell die Anwendung regressionsanalytischer Methoden erlaubt. Da es durchaus möglich ist, daß auch Faktoren, die zur Erklärung der Gesamtvarianz relativ wenig beitragen, Bedeutung für Bodenerosion haben, steht die Reduktion auf möglichst wenige Faktoren mit hohen Eigenwerten hier nicht im Mittelpunkt.

Für die Interpretation der Faktoren wird die Faktorladungsmatrix nach der Varimax-Methode rotiert, für das wichtigste Modell wird zusätzlich eine schiefwinklige Oblimin-Rotation durchgeführt.

Im folgenden werden Einzelheiten zur Datengrundlage, zum Vorgehen bei der Auswahl der in die Analyse aufzunehmenden Variablen und Variablen-Kombinationen und zur Interpretation der Ergebnisse der Faktorenanalysen vorgestellt.

6.2.1 Datenmatrix und Ausgangsvariablen

Die Datenmatrix

Grundlage für die Auswahl der in die Faktorenanalyse aufzunehmenden Variablen ist die in Kapitel 4.2 zusammengestellte Datenbasis. Während bei den Korrelationsanalysen alle Variablen auf ihren Zusammenhang mit der Bodenerosion hin untersucht werden - unabhängig davon, wieviele Daten für wie viele Länder vorhanden sind und ob einzelne Variablen mehrfach definiert sind -, muß bei der Faktorenanalyse die zu untersuchende Datenmatrix annähernd vollständig sein, d.h. Variablen und Länder, für die insgesamt zu wenig Daten vorhanden sind, können nicht berücksichtigt werden¹²⁴. Wesentliches Kriterium bei der Auswahl sowohl der Länder als auch der Variablen ist dementsprechend generell die Vollständigkeit der Datensätze für die Erosionsdeterminanten pro Land bzw. umgekehrt: der Länderdaten pro Erosionsdeterminante.

¹²⁴ Zwar besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit, mit *missing values* zu rechnen. Dieses Vorgehen ist aber nur bis zu einer gewissen Anzahl fehlender Daten technisch durchführbar und sinnvoll.

Bei der Auswahl der Variablen steht vor allem auch ihre Relevanz im Vordergrund. Bereits bei der Erstellung der allgemeinen Datengrundlage (vgl. Abschnitt 4.2) ist die Bedeutung, die jeder Variablen in der Theorie beigemessen wird, die „theoretische Relevanz“, das wesentliche Kriterium. Darüber hinaus erlauben die Ergebnisse der Korrelationsanalyse nun, den Variablen eine Art „empirische Relevanz“ zuzuordnen, d.h. Höhe und Signifikanz der Einzelkorrelationen der Variablen mit verschiedenen Erosionsindizes geben Anhaltspunkte für die mögliche Bedeutung der Variablen als Determinanten der Bodenerosion, und werden bei der Entscheidung über die Auswahl einzelner Variablen für die Faktorenanalyse besonders in kritischen Fällen hinzugezogen. In einigen Fällen werden für Variablen bzw. Länder mit relativ vollständigen Datensätzen, bei denen nur einzelne Daten fehlen, die fehlenden Variablenwerte geschätzt. Insgesamt handelt es sich dabei um 36 Werte für 12 Länder (von insgesamt 4.526 Werten, dementsprechend 0,8%). Die Schätzmethoden variieren von Variable zu Variable, die Grundprinzipien der Schätzungen sind einerseits die linearen Zusammenhänge der zu schätzenden Variablen mit anderen Variablen, andererseits regionale Ähnlichkeiten. Das bedeutet, daß ein für ein bestimmtes Land fehlender Variablenwert entweder geschätzt wird anhand einer linearen Regression mit einer anderen Variablen als unabhängiger Variablen, oder anhand des Variablenwertes für ein von den Rahmenbedingungen her ähnliches Nachbarland. Eine Beschreibung der geschätzten Fälle und Variablen sowie der Schätzmethoden befindet sich in Tabelle A-6.3.1 des Anhangs 6.

Die derart zusammengestellte Datenmatrix besteht aus 73 Ländern und 62 Einflußvariablen. Der Variablensatz ist wie in Abbildung 6-5 dargestellt strukturiert. Die einzelnen Variablen und Länder sind im Anhang 6 (Tabellen A-6.1 und A-6.2) aufgeführt. Wie auch bei der Korrelationsanalyse wird die Verteilung aller 62 Variablen ebenso wie die ihrer transponierten, logarithmierten Werte erneut für die 73 ausgewählten Länder untersucht und anhand des *Kolmogorow*-Kriteriums beurteilt, ob die Hypothese der Normalverteilung abgelehnt werden muß. Die Testwerte sind in Tabelle A-6.4 des Anhangs 6 aufgeführt. Bis auf 4 Variablen sind alle Variablen oder ihre natürlichen Logarithmen hinreichend normalverteilt. Die nicht hinreichend normalverteilten Variablen werden nicht aus der Faktorenanalyse ausgeschlossen, da die Normalverteilung keine unbedingte Voraussetzung der Faktorenanalyse ist. Ebenso wie bei der Korrelationsanalyse wird für jede Variable die besserverteilte Form der Variable - entweder die Originalwerte oder die logarithmierten Werte - in die Faktorenanalyse aufgenommen. Insgesamt kann von einer für die Faktorenanalyse hinreichenden Homogenität der ausgewählten Länderstichprobe ausgegangen werden¹²⁵.

¹²⁵ Darüber hinaus ist die Faktorenanalyse weniger empfindlich gegen Heterogenitätseinflüsse als die einzelnen Korrelationen (vgl. ÜBERLA, 1977, S. 316).

Abbildung 6-5: Datengrundlage für die Faktorenanalyse - Anzahl einbezogener Variablen für natürliche Bedingungen, Landnutzung und anthropogene Rahmenbedingungen¹⁾

NATÜRLICHE BEDINGUNGEN	LANDNUTZUNG	ANTHROPOGENE RAHMENBEDINGUNGEN
Klima 4 Hangneigung 2 Bodeneigenschaften 5	Flächennutzung¹⁾ - Abholzung 2 - Flächennutzungsstruktur 4 Landnutzung¹⁾ - Tierbesatzdichte 6 - Intensität des Landbaus 11 - Landnutzungsstruktur ¹⁾ 5 - Anbaustruktur ¹⁾ 8	Sozio-ökonomische Bedingungen - Armut 7 - Wert der Landnutzung 2 Demographische Bedingungen - Bevölkerungsdruck 6

¹⁾...Flächennutzung bezieht sich auf die gesamte Landesfläche, Landnutzung i.e.S. auf die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN); Landnutzungsstruktur bezieht sich auf die grobe Nutzungsstruktur derLN (Weideland, Dauerkulturfläche, Ackerland); Anbaustruktur bezieht sich auf die angebautenKulturen.

Quelle: eigene Darstellung

Bzgl. der Repräsentativität der ausgewählten Variablen ist festzuhalten:

- Einige wichtige Variablen werden nicht in die Datenmatrix und damit in die Faktorenanalyse aufgenommen. Daten für Landbesitzverhältnisse, für Preisentwicklungen, für die Fläche, die in einem Land von Armen bewirtschaftet wird, oder die Einkommensverteilung sind nicht für ausreichend viele Länder vorhanden. Daher soll im Rahmen der Regressionsanalyse eine ergänzende Analyse für besonders wichtige Variablen, für die nicht 73, aber mehr als 50 Länderdaten vorhanden sind, auf Grundlage der Daten für eine reduzierte Länderanzahl durchgeführt werden.
- Es gibt für verschiedene der vermuteten Einflußkategorien verschieden viele Variablen, so daß der Forschungsgegenstand nicht „gleichmäßig überdeckt“ ist (ÜBERLA, 1977, S. 254). Die Einteilung in bestimmte mehr oder weniger grobe Kategorien dient aber lediglich der Orientierung bzgl. der vermuteten Wirkungsebenen der Variablen. Eine weitere Unterteilung z.B. der Kategorie „Bevölkerungsdruck“ in Indikatoren, die das Wachstum der Bevölkerung im Referenzzeitraum wiedergeben (WRP, WTP, W_APOP), und in Indikatoren, die den strukturellen, durchschnittlichen Bevölkerungsdruck wiedergeben (MWTP_LA, PDA, AEZR), wäre ebenso möglich wie die Zusammenfassung der Kategorien „Klima“, „Hangneigung“ und „Boden“ zu einer einzigen Kategorie „Natürliche Bedingungen“. Die Aufdeckung der tatsächlichen „Kategorien“ ist vielmehr das eigentliche Ziel der Faktorenanalyse.

- Bei einer Reihe von Variablen können formale Korrelationen vermutet werden - was zwar nicht direkt aus der Graphik, aber aus Tabelle A-6.2(a) des Anhangs 6 (s. aufklappbare linke Seite) aus der Definition der Variablen zu entnehmen ist. Dies sind Variablen, die sich ergänzen oder die sehr ähnlich definiert sind. Beispielsweise bestehen formale Korrelationen zwischen den Variablen, die den Landesanteil mit einer bestimmten Hangneigung erfassen (S1, S2, S3) – die Werte ergänzen sich immer zu 100 Prozent der Landesfläche. Ein Beispiel für ähnlich definierte Variablen sind das Wachstum der Viehbesatzdichte pro landwirtschaftlicher Nutzfläche (WAAA) und pro Dauergrünland (WAPP). Das Vorliegen derart formal korrelierter Variablen steht im Gegensatz zu der Anforderung der Faktorenanalyse, daß die Ausgangsvariablen nicht ähnlich bzw. doppelt definiert sein sollten und daß als ähnlich erachtete Variablen zusammengefaßt werden sollten.

Ein Kriterium bei der Auswahl einer von mehreren formal korrelierten Variablen für die Faktorenanalyse könnte z.B. die Höhe der Korrelation mit den Erosionsindizes sein. Problematisch ist jedoch, daß die Korrelationen je nach Erosionsindex verschieden hoch sind. Beispielsweise ist der Anteil Steilhänge (S3) mit dem Wassererosionsindex korreliert, während Winderosion in engem Zusammenhang mit dem Anteil flachen Landes (S1) steht. So ist die Entscheidung für eine Variable oft nicht eindeutig. Gleichzeitig ist auf Grundlage der Korrelationen nicht vorhersehbar, welcher der Indikatoren im kausalen, multivariaten Modell für das Ausmaß der Bodenerosion auf nationaler Ebene wichtig ist.

Dieses Problem wird teilweise dadurch reduziert, daß ähnliche Variablen zusammengefaßt werden. Im Fall der Hangneigungsvariablen werden S3 sowie die Summe von S2 und S3 (S2_3) zugelassen, was einer Art Zwischenweg entspricht: Um die Folgen einer Fehlentscheidung in der Variablenwahl zu verringern, wird mehr als eine Variable in die Analyse aufgenommen. Gleichzeitig wird die Aufnahme der dritten möglichen Variable (S1) in die Analyse überflüssig¹²⁶. Auch bei der Wahl der anderen in die Faktorenanalyse aufzunehmenden Variablen wird in vergleichbarer Weise versucht, einen Weg zwischen der Vermeidung der Vernachlässigung u.U. wesentlicher Variablen (Omission) und der Vermeidung von Mehrfachdefinitionen (Redundanz) zu finden.

Ausgangsvariablen und Analysetypen

Um den Einfluß formaler Korrelationen aufzudecken und weiterhin zu verringern, werden - ausgehend von der 62-Variablen-Matrix - verschiedene Faktorenanalysen durchgeführt, die sich in Art und Anzahl der Ausgangsvariablen unterscheiden (im folgenden: Analysetypen). Über die Aufdeckung von Verzerrungen der Ergebnisse durch doppelte

¹²⁶ Da die Faktorenanalyse auf der Analyse von Korrelationen basiert, und die Korrelationen zweier Variablen, die zusammen eins ergeben, mit einer dritten Variablen den selben absoluten Betrag haben, braucht in diesem Fall S1 nicht berücksichtigt zu werden.

Variablen hinaus wird erwartet, daß auf diese Weise ein vollständigeres und stabileres Bild der Zusammenhänge unter den Variablen entsteht, und daß gerade auch Unterschiede in den Variablenbeziehungen für die möglichen Einflußgrößen der Wasser- und der Winderosion zutage treten können. Der Schwerpunkt der empirischen Untersuchung liegt dabei eindeutig bei dem ersten, vollständigen Analysetyp, die anderen Analysetypen sind als Ergänzungen zu verstehen.

Analysetyp (1): Das vollständige Variablenset (62 Variablen)

Es werden alle 62 Variablen berücksichtigt, die für Bodenerosion annahmegemäß relevant sein könnten und für die ausreichend Daten vorliegen. Hierdurch soll ein möglichst vollständiges Bild der Zusammenhänge unter allen Variablen gegeben werden. Neben diesem Vorteil hat dieser Analysetyp zwei Nachteile. Erstens besteht bei den vorliegenden Daten ein relativ enges Verhältnis zwischen der Anzahl der möglichen Einflußvariablen und der Anzahl der Länder, für die Daten vorhanden sind. Zweitens gibt es - wie erwähnt - bei Einschluß aller Variablen ein hohes Maß an Ähnlichkeit unter einigen von ihnen.

Analysetyp (2): Aussortieren ähnlicher Variablen (52 Variablen)

Um diese Nachteile auszugleichen, wird bei einem zweiten Analysetyp für jede der angenommenen Einflußgrößen nur noch eine Variable zugelassen, so daß insgesamt 52 Variablen berücksichtigt werden. Ausschlaggebendes Kriterium für die Wahl einer von mehreren definitionsgemäß ähnlichen Variablen ist die Höhe der Einzelkorrelationen mit den Erosionsindizes. Ein Nachteil ist - wie beschrieben -, daß hohe Einzelkorrelationen nicht unbedingt ein Hinweis auf eine große relative Bedeutung einzelner Variablen in der multivariaten Analyse sind.

Analysetyp (3): Zugrundelegung der Einzelkorrelationen (42 Variablen)

In einem weiteren Schritt werden nur noch Variablen, die hohe Einzelkorrelationen mit einem oder mehreren Erosionsindizes aufweisen, in die Analyse aufgenommen. Die Zielrichtung dieses Analysetyps ist dementsprechend, unter den Variablen, die nachgewiesenermaßen - also aufgrund der Höhe ihrer Einzelkorrelation - in Zusammenhang mit der Bodenerosion stehen, Gruppen von zusammengehörigen Variablen zu finden. Für diesen Analysetyp gilt derselbe Nachteil wie für den Analysetyp (2).

Analysetyp (4): Trennung nach Erosionstyp (27 Variablen und 25 Variablen)

Ausgehend von der Annahme, daß vor allem im Bereich der natürlichen Faktoren die Einflußfaktoren von Wind- und Wassererosion unterschiedlich sind, was durch die Ergebnisse der Korrelationsanalyse bestätigt wird, sollen bei diesem Analysetyp die für die verschiedenen Erosionstypen relevanten Variablen jeweils getrennt in verschiedene Faktorenanalysen eingehen. Gebündelt werden also einerseits die mit Wassererosion (4a)

und andererseits die mit Winderosion (4b) in Zusammenhang stehenden Variablen¹²⁷.

Von Typ (1) nach Typ (4) findet eine methodische Verschiebung statt: Während bei Typ (1) ausschließlich die Hypothesen der Literatur zum Zusammenhang zwischen Bodenerosion und ihren Ursachen als Grundlage für die Identifizierung von Faktoren und damit auch für die darauf aufbauende Regressionsanalyse dienen (theoretische Relevanz), wird bei den weiteren Analysetypen - in immer stärkerem Maße - auf die Einzelkorrelationen als Grundlage der Kausalanalyse zurückgegriffen (empirische Relevanz). In Tabelle A-6.2 des Anhangs 6 findet sich die Liste der pro Analysetyp in die Faktorenanalyse eingeschlossenen Variablen.

Für die Beurteilung der technischen Eignung der Analysetypen (1) bis (4) für die Faktorenanalyse werden die MSA-Werte nach Kaiser, Meyer und Olkin sowie die Testwerte des Bartlett-Tests berechnet (s. Tabelle 6-2).

Tabelle 6-2: Measure of Sampling Adequacy (MSA) -Werte und Testwerte des Bartlett-Tests für die verschiedenen Analysetypen

	Typ (1)	Typ (2)	Typ (3)	Typ (4a)	Typ (4b)
MSA	0,43	0,59	0,61	0,72	0,63
	<i>Unacceptable</i>	<i>Miserable</i>	<i>Mediocre</i>	<i>Middling</i>	<i>Mediocre</i>
Bartlett-,T“	5.820	4.198	3.317	1.915	1.323

Quelle: eigene Berechnungen

Die Werte des Bartlett-Tests sind für alle Analysetypen relativ hoch, was bedeutet, daß die jeweiligen Determinanten der Korrelationsmatrizen aller Variablen grundsätzlich ausreichend hoch sind¹²⁸. Allerdings lassen die schlechten MSA-Werte vor allem für den Analysetyp (1) darauf schließen, daß etliche einzelne Variablen nur unzureichend anhand der anderen Variablen erklärt werden können. Die Untersuchung der partiellen MSA-Werte für jede Variable zeigt, daß nur 36% der 62 Variablen einen MSA-Wert von > 0,5 und nur 16% der Variablen einen Wert von > 0,6 haben (vgl. Tabelle A-6.5 des Anhangs 5). Eine Erklärung hierfür ist, daß die Ausgangsvariablen nicht nach dem Kriterium ihrer Ähnlichkeit untereinander, sondern nach ihrer angenommenen Relevanz für Bodenerosion ausgewählt wurden. Diese schlechten MSA-Werte stehen jedoch der Anwendung der explorativen Faktorenanalyse nicht im Wege, da es in erster Linie darum geht, vorhandene oder auch nicht vorhandene Strukturen unter den Ausgangsvariablen aufzudecken.

¹²⁷ Für jeden Erosionstyp werden die Variablen sowohl nach Höhe der Einzelkorrelation als auch nach theoretischen Überlegungen ausgewählt.

¹²⁸ Die Irrtumswahrscheinlichkeit ist in allen betrachteten Fällen < 0.001.

6.2.2 Vorgehen bei der Interpretation der Faktoren

Grundlage der Faktorinterpretation ist zunächst die Rotation der Faktoren nach der Varimax-Methode sowie spezielle Faktorladungstabellen, die auf der rotierten Faktorladungsmatrix beruhen. Die Varimax-Rotation hat zum Ziel, die Datenstruktur möglichst klar und eindeutig wiederzugeben. In den Faktorladungstabellen sind die Variablen für jeden Faktor nach der absoluten Höhe ihrer Faktorladung in absteigender Reihenfolge geordnet. Gleichzeitig wird jeder der Variablen ein *label* zugeordnet. Dieses *label* bezieht sich auf die Art oder Kategorie der Größe, die die Variable erfassen soll, und dient angesichts der Vielzahl von Ausgangsvariablen als Interpretationshilfe. Als hoch werden Ladungen mit absoluten Werten $\geq 0,7$ betrachtet. Ladungen, die absolut $< 0,7$ und $\geq 0,5$ sind, sollen als mittlere Ladungen bezeichnet werden. Exemplarisch wird auf der folgenden Seite die Faktorladungstabelle des Faktors 1 aus dem 16-Faktorenmodell des Analysetyps (1) tabellarisch wiedergegeben (Tabelle 6-3). Die Faktorladungstabellen sämtlicher Faktoren finden sich in Anhang 6 (Tabellen A-6.6.1 bis A-6.6.16).

Zunächst wird eine Prüfung auf Konsistenz der einzelnen Faktoren mit dem Ziel durchgeführt, einen Anhaltspunkt für ihre Interpretierbarkeit im allgemeinen zu bekommen. Hierzu werden die Faktorladungen der Variablen, die eine mittlere oder hohe Faktorladung haben, daraufhin untersucht, ob ihre Vorzeichen „stimmig“ sind, d.h. ob die Faktorladungen von Variablen, über deren Art des Zusammenhangs (positiv oder negativ) *a priori* bestimmte Annahmen getroffen werden können, die erwartete Vorzeichenkombination aufweisen. Zum Beispiel ist zu erwarten, daß die Variablen „Human Development Index“ und „Pro-Kopf-Kalorienversorgung“ - zumindest bei einem Faktor, auf den sie beide hoch laden - gleichgerichtete Faktorladungen haben. Andernfalls ist besondere Vorsicht bei der Interpretation des Faktors geboten. Diese Konsistenzprüfung dient lediglich der groben Einschätzung eines Faktors hinsichtlich seiner Interpretierbarkeit. Gerade bei empirischen Daten, deren Qualität - wie im vorliegenden Fall - sehr stark variiert, wird vermutet, daß diese grobe Einschätzung Interpretationsfehler vermeiden hilft.

Tabelle 6-3: Beispiel einer Faktorladungstabelle ¹⁾

Variable	Indikator für (label) :	Ladung
ARPC_AA	Landnutzungsstruktur	0,91
AR_AA	Landnutzungsstruktur	0,91
PDA	Bevölkerungsdruck	0,90
VAPHA	Wert Landnutzung	0,87
MWBPP	Tierbesatzdichte	0,82
MWTP_LA	Bevölkerungsdruck	0,78
MWAAA	Tierbesatzdichte	0,69
CI	Intensität Landnutzung	0,69
FERT_AA	Intensität Landnutzung	0,68
MWBAA	Tierbesatzdichte	0,66
PCP_T	Intensität Landnutzung	0,50
TR_AA	Intensität Landnutzung	0,44
T1	Bodeneigenschaften	-0,42
MWYCE	Intensität Landnutzung	0,41
S3	Hangneigung	0,39
AEZR	Bevölkerungsdruck	-0,36
S2_3	Hangneigung	0,34
T2	Bodeneigenschaften	0,27
WAHK12	Anbaustruktur	0,26
WAR_AA	Landnutzungsstruktur	-0,26
WTR_APS	Intensität Landnutzung	0,26
WTP	Bevölkerungsdruck	-0,25
WBAA	Tierbesatzdichte	-0,25
MWYCG	Intensität Landnutzung	0,25
DEFN	Abholzung	0,24
WAA_LA	Flächennutzungsstruktur	0,23
AHDSA_LN	Klima	-0,23
MWAP5	Anbaustruktur	-0,22
MWAP4	Anbaustruktur	-0,22
PMM_A	Klima	0,22
H	Klima	0,21
SH	Klima	0,20
WAPP	Tierbesatzdichte	-0,19
MWAP3	Anbaustruktur	0,19
WAPOP_AA	Bevölkerungsdruck	-0,17
D1	Bodeneigenschaften	0,15
WRP	Bevölkerungsdruck	0,15
WAAA	Tierbesatzdichte	-0,14
T3	Bodeneigenschaften	0,14
D4	Bodeneigenschaften	-0,14
WVAPHA	Wert Landnutzung	-0,14
WAHK5	Anbaustruktur	0,12
MWWY	Intensität Landnutzung	0,11
OL_LA	Flächennutzungsstruktur	0,11
WAHK4	Anbaustruktur	-0,10
RP_N	Armut	-0,08
WAHK3	Anbaustruktur	-0,08
WYCE	Intensität Landnutzung	0,07
WYCG	Intensität Landnutzung	0,06
DEF_ARE	Abholzung	0,06
VAPC	Armut	-0,06
WCAL	Armut	0,05
AA_LA	Flächennutzungsstruktur	-0,05
WVA	Armut	-0,04
WFER_AP	Intensität Landnutzung	0,03
WPC_AA	Landnutzungsstruktur	0,03
CAL	Armut	0,03
HDI	Armut	-0,02
WPP_AA	Landnutzungsstruktur	-0,02
MWAP12	Anbaustruktur	0,02
WVAPC	Armut	-0,01
FW_LA	Flächennutzungsstruktur	-0,01

¹⁾ Faktorladungstabelle des Faktors 1, 16-Faktoren-Modell, Analysetyp (1).

Quelle: eigene Berechnungen

Bei der eigentlichen Deutung der Faktoren wird im Sinne von OST grundsätzlich untersucht, ob ein „gemeinsamer Tenor“ (OST in FAHRMEIR und HAMERLE, 1984, S. 616) für die auf einen Faktor hoch ladenden Variablen gefunden werden kann (vgl. auch BACKHAUS et al., 1994, S. 228) und wie dieser benannt werden kann. Hierzu werden neben den hoch ladenden Variablen selbst deren *labels* als Interpretationshilfe herangezogen. Im einfachsten Fall würden alle auf einen Faktor hoch ladenden Variablen dieselbe *label* tragen, z.B. „Armut“, womit einer Deutung des betreffenden Faktors i.S. eines „Armutsfaktors“ wohl kaum mehr etwas im Wege stünde. Es ist aber äußerst unwahrscheinlich, daß dieser einfache Fall für sämtliche Faktoren zutrifft.

Vielmehr ist für die hoch ladenden Variablen eines Faktors eine Mischung von Variablen verschiedener *labels* zu erwarten. Eine Möglichkeit der Interpretation wäre es nun, die Anteile der verschiedenen *labels* an den hoch ladenden Variablen aufzuschlüsseln: Bei z.B. drei Abholzungsvariablen und drei Bevölkerungsdruckvariablen von insgesamt sechs hoch ladenden Variablen läge eine Deutung in Richtung eines Faktors für „Bevölkerungsdruck und Abholzung“ nahe. Weil aber jedes *label* unterschiedlich viele Variablen kennzeichnet, könnte dieses Vorgehen zu Fehlschlüssen führen: Gibt es z.B. insgesamt zwölf verschiedene Variablen für Bevölkerungsdruck als Ausgangsvariablen für die Faktorenanalyse, aber nur drei Abholzungsvariablen, so wird die relative Bedeutung des Bevölkerungsdrucks bei der Faktorinterpretation durch das skizzierte Vorgehen u.U. überschätzt. Die wesentlichen Fragen sind vielmehr:

- Welcher Anteil der Variablen eines *labels* ist unter den auf einen Faktor hoch ladenden Variablen vertreten?
- Sind die hoch ladenden Variablen eines *labels* von den übrigen Variablen des *labels*, die keine hohen Faktorladungen haben, abgrenzbar, und wenn ja, wie?

Für das genannte Beispiel würde das bedeuten, daß drei von zwölf Bevölkerungsdruckvariablen - also ein viertel - und drei von drei Abholzungsvariablen - also sämtliche - hoch auf den betreffenden Faktor laden, was eine deutliche Verschiebung der Deutung in Richtung der Abholzung zur Folge hätte. Des weiteren müßte überprüft werden, um welche Bevölkerungsdruckvariablen es sich bei den hoch ladenden genau handelt. Denkbar wäre, daß dies die einzigen der Bevölkerungsdruckvariablen sind, die das Bevölkerungswachstum wiedergeben (etwa Wachstumsraten der Gesamtbevölkerung, der ländlichen und der landwirtschaftlichen Bevölkerung), also eine Art „Untergruppe“ des *labels* darstellen. Wenn dem so ist, könnte man den Tenor des genannten Beispielfaktors schließlich folgendermaßen erfassen: „In Zusammenhang mit dem Bevölkerungswachstum der vergangenen 30 Jahre stehende Veränderung des Waldbestandes“. Es wird deutlich, daß das ausdrückliche Ziel dieses formalistisch anmutenden Vorgehens ist, die Faktoren möglichst treffsicher und differenziert entsprechend der **relativen** Bedeutung der hoch ladenden Variablen zu interpretieren. Dies ist besonders bei Faktoren mit hohen Eigenwerten und einer entsprechend großen Anzahl hoch ladender Variablen wichtig.

Zur Illustration der Faktorinterpretation werden die Faktorwerte für jeden Faktor und jedes Land berechnet und für jeweils zehn Länder mit den höchsten und niedrigsten Faktorwerten in Tabellenform abgebildet. So kann sich der Leser im Anschluß an die Interpretation und Diskussion jedes Faktors ein Bild davon machen, welche Länder bzgl. der in diesem Faktor gebündelten Variablen besonders hoch und welche besonders niedrig „eingestuft“ werden, und beurteilen, ob die Interpretation des Faktors auf dieses „Ländermuster“ paßt. Gerade vor dem Hintergrund des abstrakten statistischen Vorgehens sollen hierdurch ein Bezug zur Realität und eine Einschätzung durch den Leser ermöglicht werden.

Zusätzlich zu den Ergebnissen der varimaxrotierten Lösung wird für den Analysetyp (1) eine schiefwinklige Rotation nach der Oblimin-Methode durchgeführt. Der Grund hierfür ist, daß die Annahme voneinander unabhängiger Faktoren zwar methodisch und interpretatorisch hilfreich, aber unter Zugrundelegung der vermuteten Kausalstrukturen eventuell unrealistisch ist. Die obliminrotierten Faktoren werden daraufhin untersucht, inwieweit sie miteinander in Zusammenhang stehen, und ob die einzelnen Faktoren stark von den varimaxrotierten Faktoren abweichen.

6.3 Ergebnisse

Zum besseren Verständnis der im folgenden dargestellten Ergebnisse der Faktorenanalysen sollten die Tabellen A-6.2(a) und A-6.6(a) (jeweils 2 Seiten) nach links und rechts ausgeklappt werden. In Tabelle A-6.6(a) (rechts, letzte Seite der Arbeit) sind die Faktorladungstabellen für die Faktoren abgebildet. Es werden jeweils nur die Variablen mit absoluten Faktorladungen $> 0,4$ angegeben, absolute Faktorladungen $> 0,5$ sind grau hinterlegt. In Tabelle A-6.6(a) (links, hinter dem Inhaltsverzeichnis der Arbeit) findet sich die Abkürzungen und Definitionen der einzelnen Variablen.

6.3.1 Das vollständige Variablenmodell - Analysetyp (1)

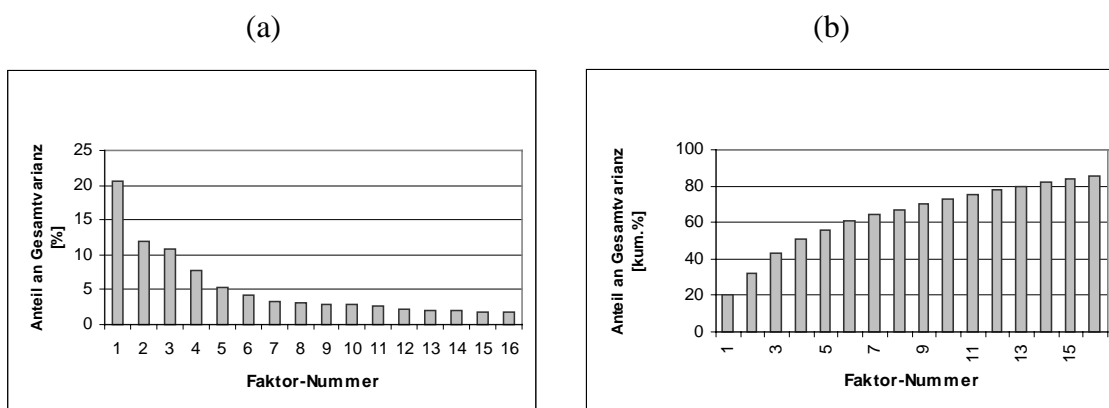
Aus den 62 Ausgangsvariablen werden bei Zugrundelegung des Kaiser-Kriteriums 16 Faktoren extrahiert, die insgesamt rund 86 Prozent der Gesamtvarianz der Ausgangsvariablen erklären - d.h. es ist möglich, fast 6/7 der Gesamtvarianz anhand von nur rund ein Viertel so vielen Faktoren wie Variablen zu erklären. In Abbildung 6-6 und Tabelle 6-4 sind die Anteile der einzelnen Faktoren an der Erklärung der Gesamtvarianz einzeln und kumulativ sowie ihre Eigenwerte dargestellt. Es wird deutlich, daß allein vier Faktoren mehr als die Hälfte der Gesamtvarianz erklären (51%), sechs weitere Faktoren etwa ein weiteres Fünftel (22%). Die Zunahme an Varianzerklärung durch die letzten sechs Faktoren ist vergleichsweise gering, sie liegt durchschnittlich bei zwei Prozent.

Tabelle 6-4: Eigenwerte und Anteile der extrahierten Faktoren an der Erklärung der Gesamtvarianz (GV), partiell und kumuliert

FAKTOR	Eigenwert	Erklärter Anteil GV [%]	Erklärter Anteil GV [kum. %]
1	12,7	20,5	20,5
2	7,4	12,0	32,5
3	6,7	10,8	43,3
4	4,8	7,7	51,0
5	3,3	5,3	56,3
6	2,7	4,3	60,7
7	2,1	3,4	64,1
8	1,9	3,1	67,2
9	1,8	2,9	70,1
10	1,8	2,9	73,0
11	1,6	2,6	75,6
12	1,4	2,3	77,9
13	1,3	2,1	80,0
14	1,3	2,1	82,1
15	1,1	1,8	84,0
16	1,1	1,7	85,7

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 6-6: Anteile der extrahierten Faktoren an der Erklärung der Gesamtvarianz (GV), partiell (a) und kumulativ (b)



Quelle: eigene Berechnungen

Faktor 1 - „Strukturelle Landknappheit – Ackerbauliche Ausrichtung und Intensität der Landnutzung“

Dieses ist der für die Erklärung der Varianz bedeutendste Faktor: mehr als ein Fünftel der Gesamtvarianz werden durch ihn erklärt. Anhand der Faktorladungstabelle dieses Faktors auf Seite 148 wird deutlich, daß der Faktor uneingeschränkt konsistent ist: Hohe Bevölkerungs- und Viehbesatzdichten gehen hier erwartungsgemäß einher mit einer intensiven Landnutzung, die eher vom Ackerbau und von Dauerkulturen bestimmt ist, sowie mit hohen monetären Hektarerträgen. Umgekehrt ist ein niedriger Bevölkerungsdruck verbunden mit niedriger Intensität des Produktionsmitteleinsatzes, einem hohen Anteil von Dauergrünland an der landwirtschaftlichen Nutzfläche und mit niedrigen Hektarerlösen.

Obwohl diese Konsistenzprüfung bereits Hinweise für die inhaltlichen Deutung des in dem Faktor zusammengefaßten Variablenbündels gibt, werden die *labels* der Variablen für die detaillierte Interpretation herangezogen. Von den insgesamt zwölf Variablen mit hohen und mittleren Ladungen beziehen sich die beiden höchstladenden auf die Landnutzung, fünf haben Bevölkerungs- und Viehbesatzdichten zum Inhalt, vier beziehen sich auf die Intensität der Landnutzung, und eine gibt den Wert der landwirtschaftlichen Nutzfläche wieder.

Die beiden Landnutzungs-Variablen AR_AA und ARPC_AA geben die Anteile der landwirtschaftlichen Nutzfläche wieder, die ackerbaulich, durch Ackerbau und Dauerkulturen bzw. durch Dauergrünland genutzt werden¹²⁹. Es sind diejenigen beiden von insgesamt fünf Variablen der Landnutzungsstruktur, die die Nutzungsrichtung der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Durchschnitt der Jahre 1961 bis 1990 wiedergeben. Im Unterschied dazu kennzeichnen die anderen drei Variablen durchschnittliche Wachstumsraten der genannten Größen im Referenzzeitraum. Es gibt also keine anderen „ähnlichen“ Variablen der Landnutzungsstruktur, die *nicht* hoch auf den Faktor laden.

Von den insgesamt sechs Variablen, die den Bevölkerungsdruck quantifizieren, weisen zwei hohe Faktorladungen auf: PDA und MWTP_LA. Sie geben den durchschnittlichen Bevölkerungsdruck im Referenzzeitraum ohne Berücksichtigung der agrarökologischen Bedingungen wieder. Somit sind in diesem Faktor zwei von drei strukturellen Bevölkerungsvariablen mit hohen Ladungen vertreten¹³⁰.

¹²⁹ Der Anteil Dauergrünland an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche ist versteckt in der Variable ARPC_AA enthalten, da sich die Werte von ARPC_AA und PP_AA zu 100% ergänzen.

¹³⁰ Auch die *AEZ-ratio*, die ebenso zu den strukturellen Größen zu zählen ist, zusätzlich aber die agrarökologische Tragfähigkeit berücksichtigt, weist mit $l_{1,AEZ} = -0,36$ eine nicht zu vernachlässigende Faktorladung auf.

Analog zum Bevölkerungsdruck haben alle drei Variablen, die die durchschnittlichen Viehbesatzdichten im Referenzzeitraum ausdrücken - MWBPP, MWAAA, MWBPP-, mittlere bis hohe Faktorladungen. Wiederum finden sich zwar insgesamt sechs Viehbesatzdichte-Variablen in der Analyse, die übrigen drei beziehen sich aber alle auf Wachstumsraten, sind also klar von den Durchschnittsgrößen abgrenzbar.

Mit absoluten Ladungen von mehr als 0,5 sind drei der elf die Intensität der Landnutzung beschreibenden Variablen vertreten: (1) CI, eine Art „R-Wert“¹³¹ für die gesamte Anbaufläche eines Landes; (2) PCP_T, eine Variable, die angibt, welcher Teil der potentiell ackerbaulich nutzbaren Fläche tatsächlich bebaut wird; und schließlich (3) die durchschnittliche Düngemittelintensität in den Jahren 1961 bis 1990, FERT_AA. Die Vorzeichen der Faktorladungen der anderen durchschnittlichen Intensitätsmaßstäbe (MWYCG, MWYCE, TR_AA) sind ebenfalls positiv, die Ladungen aber zu niedrig, als daß sie charakteristisch für den Faktor sein könnten. Unter den strukturellen¹³² und durchschnittlichen Intensitätsmaßstäben haben also diejenigen stärker mit dem Faktor zu tun, die sich auf den Einsatz von Land (extensive Nutzung auf der einen und kurze Brachezeiten auf der anderen Seite) und Düngemitteln beziehen. Der Intensivierung im Sinne der respektiven Wachstumsraten kommt keine Bedeutung zu.

Das bisher skizzierte Bild des Faktors wird schließlich abgerundet durch die Variable VAPHA für die durchschnittlichen Hektarerlöse, die eine hohe Faktorladung aufweist ($I_{1,VAPHA} = 0,87$). Diese Variable ist neben der entsprechenden Wachstumsrate die einzige, die den Wert der landwirtschaftlichen Nutzfläche quantifiziert.

Der Faktor 1 vereint in sich also folgende, bzgl. der Faktorladungen konsistente und klar von den anderen Variablen abgrenzbare Größen:

- Nutzungsrichtung der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Durchschnitt der Jahre
- Bevölkerungs- und Viehbesatzdichte im Durchschnitt der Jahre
- Wert der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Durchschnitt der Jahre
- Flächen- und Düngemittelintensität der Landnutzung im Durchschnitt der Jahre.

Es ist offenkundig, daß es sich um einen strukturellen Faktor handelt, da ausschließlich Durchschnittsgrößen bzw. zeitpunktbezogene Schätzwerte mit strukturellem Charakter relevant sind, also Größen, die jedes Land über einen Zeitraum von immerhin 30 Jahren hinweg kennzeichnen. Diese Größen lassen sich verdichten auf eine - etwas hölzerne - Sammelformel wie etwa: „Strukturelle, mit dem Bevölkerungsdruck in Zusammenhang stehende Art, Intensität und Wert der Landnutzung“.

¹³¹ R-Wert: betriebswirtschaftliches Maß für das Verhältnis Brachefläche zu bebauter Fläche. Referenzjahr für die Schätzung von CI und PCP_T: 1989.

¹³² CI und PCP_T sind als zeitpunktbezogene Schätzwerte mit strukturellem Charakter zu verstehen.

Bei der Interpretation kann ein Bezug hergestellt werden zu einigen der im Kapitel 3 vorgestellten bevölkerungsdruckinduzierten Entwicklungsmuster. So könnte man deuten, daß mit dem Faktor ein bestimmtes Entwicklungsmuster oder genauer gesagt dessen Ergebnis skizziert wird, das auf der Ausstattung eines Landes mit der Ressource Boden basiert. Länder, in denen der Bevölkerungsdruck hoch und der Boden relativ knapp ist - was nicht zuletzt im Bodenwert seinen Ausdruck findet -, würden demzufolge langfristig einen Entwicklungsweg einschlagen, bei dem das Anbaupotential durch einjährige und Dauerkulturen weitgehend ausgeschöpft und der Boden intensiver genutzt wird, vor allem durch kurze Brachezeiten, eine hohe Düngemittelintensität und hohe Viehbesatzdichten. Hingegen stünden Länder mit reichlicher Flächenausstattung und Ausrichtung auf extensive Tierproduktion weniger unter dem Druck, ihr Anbaupotential auszuschöpfen, eine Erhöhung der Produktionsmittelintensitäten wäre weniger notwendig¹³³. In Tabelle 6-5 findet sich zur Veranschaulichung und Beurteilung dieser Interpretation durch den Leser eine Liste der Länder, die besonders hohe und besonders niedrige Faktorwerte aufweisen¹³⁴.

Tabelle 6-5: Faktorwerte des Faktors „Strukturelle Landknappheit“ für ausgewählte Länder¹⁾

Höchste Faktorwerte	FW	Niedrigste Faktorwerte	FW
BANGLADESH	2,34	MALI	-1,05
EGYPT	2,11	SOMALIA	-1,19
KOREA, REPUBLIC OF	1,79	ZAMBIA	-1,22
INDIA	1,71	BOLIVIA	-1,25
PAKISTAN	1,67	CHAD	-1,63
SURINAM	1,33	GABON	-1,76
SRI LANKA	1,17	SAUDI ARABIA	-1,84
MYANMAR	1,15	BOTSWANA	-1,87
NEPAL	1,13	CONGO, THE	-1,93
HAITI	1,10	MAURITANIA	-2,38

¹⁾...20 Länder mit den jeweils höchsten und niedrigsten Faktorwerten

Quelle: eigene Berechnungen

¹³³ Trotz der Vokabel „Entwicklung“ darf nicht vergessen werden, daß der Zeithorizont der in diesem Faktor möglicherweise angedeuteten Entwicklungsmuster ein sehr langfristiger ist: Ginge es um Entwicklungen, die sich in den vergangenen 30 Jahren, bzw. im Referenzzeitraum vollzogen haben, so müßten hier strukturelle Größen der Landknappheit zusammengehen mit den **Wachstumsraten** der Intensität und der Flächennutzung, oder gar Wachstumsraten der Landknappheit mit denen der Intensität und Flächennutzung.

¹³⁴ In dieser wie auch in den folgenden Tabellen und in den Tabellen des Anhangs werden die englischen Ländernamen verwendet.

Faktor 2 - „Strukturelle Armut“

Anhand des zweitwichtigsten Faktors können zwölf Prozent der Gesamtvarianz erklärt werden. Zehn der 62 Variablen haben absolute Faktorladungen, die größer als 0,5 sind, eine weitere Variable lädt mit 0,47 ebenfalls relativ hoch auf den Faktor. Es handelt sich um Variablen mit den *labels* Armut, Bevölkerungsdruck und Intensität der Landnutzung. Die Vorzeichen der Faktorladungen sind theoretisch plausibel: Geringe Armut - bzw. Wohlstand - geht hier zusammen mit einer hohen Intensität der Landnutzung und mit geringem Bevölkerungsdruck. Der Faktor kann also grundsätzlich als konsistent betrachtet werden.

Von den insgesamt sieben Armutsindikatoren laden vier¹³⁵ mittel bis hoch auf den Faktor - HDI, CAL, VAPC und RP_AA -, drei von ihnen sogar mit Ladungen $\geq 0,83$. Damit sind sämtliche strukturellen Armutsindikatoren erfaßt.

Die beiden Variablen mit dem *label* Bevölkerungsdruck, WAPOP_AA und WRP haben mittlere Ladungen. Sie lassen sich insofern von den anderen Variablen dieses *labels* - insgesamt sechs - abgrenzen, als sie zwei von drei Wachstumsraten darstellen und darunter gerade die beiden, die das Wachstum der ländlichen bzw. der landwirtschaftlichen Bevölkerung - im Gegensatz zum Wachstum der Gesamtbevölkerung - im Referenzzeitraum erfassen. Die Tatsache, daß fünf Indikatoren der strukturellen, langfristigen Armut in diesem Faktor verbunden sind mit den beiden Variablen des mittelfristigen ländlichen Bevölkerungswachstums, ist ein recht interessantes Nebenergebnis, das den im Kapitel 3 theoretisch dargestellten Zusammenhang zwischen Armut und Bevölkerungsdruck stützt.

Bei den Indikatorvariablen für die Anbauintensität, TR_AA, FERT_AA, MWYCG, MWYCE, handelt es sich um vier der sechs Variablen, die durchschnittliche Intensitäten wiedergeben. Zwei davon beziehen sich auf die durchschnittliche Ertragshöhe der beiden Getreidegruppen. Obwohl diese Variablen ursprünglich als Indikatoren für die Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung herangezogen wurden, wird hier klar, daß sie nicht nur als Intensitätsmaßstäbe mit der Armut in Zusammenhang stehen, sondern selbst als Armutsindikatoren geeignet sind. Fraglos ist - gerade bei einem Entwicklungsländervergleich - die durchschnittliche Ertragshöhe der bedeutendsten Nahrungskulturen ein mögliches Maß für das durchschnittliche Wohlergehen der Bevölkerung eines Landes. Die beiden anderen Intensitätsvariablen kennzeichnen die durchschnittliche Intensität des Produktionsfaktoreinsatzes. Unberücksichtigt bleiben in dem Faktor die Wachstumsraten der Intensitätsvariablen sowie PCP_T und CI. Letztere beziehen sich im Gegensatz zu den anderen Variablen auf den Einsatz von Boden als Produktionsfaktor.

¹³⁵ Unter Mitberücksichtigung der Variablen WVAPC mit einer Ladung von $l_{2,WVAPC} = 0,47$ sind es sogar fünf von sieben Variablen.

Dementsprechend bündelt der Faktor 2 sämtliche strukturellen Armutsindikatoren in Verbindung mit dem Wachstum der ländlichen und landwirtschaftlichen Bevölkerung sowie der durchschnittlichen Intensität von Düngemittel- und Maschineneinsatz. Vereinfachend kann er als „struktureller Armutsfaktor“ gedeutet werden, wobei immer präsent bleiben muß, daß er im Zusammenhang mit dem ländlichen Bevölkerungswachstum und dem Produktionsmitteleinsatz steht. Eine derartig eindeutige Struktur ist gerade bei diesem Faktor bemerkenswert; denn die gewählten Armutsindikatoren haben einen ausgesprochen heterogenen Charakter - so finden sich nebeneinander monetäre Indikatoren und qualitative; Pro-Kopf-Größen und Größen, die als Anteil der ländlichen Bevölkerung ausgedrückt sind; auf die Gesamtbevölkerung und auf die ländliche Bevölkerung bezogene Größen. Zudem stammen die entsprechenden Daten aus unterschiedlichen, voneinander relativ unabhängigen Quellen (FAO, UN-HDR, IFAD/JAZAIRY et al., WORLD BANK), gründen auf verschiedenen Definitionen von Armut, und es ist anzunehmen, daß sie unterschiedliche Qualität haben. Wenn dennoch in der Faktorenanalyse ein so schlüssiger Faktor extrahiert wird, so läßt dies vermuten, daß die Datengrundlage insgesamt besser als angenommen und die Interpretation des Faktors als Armutsfaktor tatsächlich plausibel ist¹³⁶. Wiederum werden in folgender Tabelle 6-6 20 Länder mit extremen Faktorwerten aufgelistet.

Tabelle 6-6: Faktorwerte (FW) des Faktors „Strukturelle Armut“ für ausgewählte Länder¹⁾

Höchste Faktorwerte	FW	Niedrigste Faktorwerte	FW
ARGENTINA	2,87	MALI	-0,99
URUGUAY	2,18	BENIN	-1,06
KOREA, REPUBLIC OF	1,59	CENTRAL AFRICAN REPUBLIC	-1,10
GUYANA	1,55	CHAD	-1,13
TURKEY	1,55	ETHIOPIA	-1,27
CHILE	1,35	BURUNDI	-1,28
EGYPT	1,27	MAURITANIA	-1,62
SURINAM	1,27	RWANDA	-1,68
ALGERIA	1,24	BURKINA FASO	-1,96
TUNISIA	1,21	SOMALIA	-2,02

¹⁾ 20 Länder mit den jeweils höchsten und niedrigsten Faktorwerten

Quelle: eigene Berechnungen

¹³⁶ Wenn auch nur in Zusammenhang mit mittleren Faktorladungen, so ist zusätzlich noch interessant, daß zwei der Landnutzungs-Variablen, MWAP3 und MWAP4, mit entgegengesetzten Vorzeichen auf diesen „Armutsfaktor“ laden: werden in - gemäß dem Faktor - ärmeren Ländern eher Kulturen der Gruppe 4, Mais und Bohnen, angebaut, so steigt mit zunehmendem Wohlstand der durchschnittliche Anteil der Gruppe 3, vorwiegend Weizen und Reis, an der Anbaufläche.

Faktor 3 - „Agroklimatische Bedingungen und Waldanteil“

Der durch diesen Faktor erklärte Varianzanteil ist ähnlich hoch wie der des Armutsfaktors, er beträgt rund elf Prozent. Sämtliche Faktorladungen der acht mittel bis hoch ladenden Variablen mit den *labels* Niederschlag, Landnutzung, Bevölkerungsdruck sowie Abholzung tragen Vorzeichen, die ein plausibles Gesamtbild ergeben: Mit der Humidität der betrachteten Länder steigen Waldanteil und Abholzung sowie der Cassava- und Dauerkulturanbau; gleichzeitig besteht ein zunehmender Spielraum bzgl. der verbleibenden agrarökologischen Tragfähigkeit - bzw. *vice versa*.

Von den vier die Humiditätsverhältnisse eines Landes erfassenden Variablen haben drei Ladungen mit einem Betrag von mehr als 0,8: H, AHDSA_LN und PMM_A. Die einzige nicht auf den Faktor ladende Variable ist der Anteil der pflanzenbaulich genutzten Fläche eines Landes, der subhumid ist. Letzteres läßt vermuten, daß hier nicht unbedingt die Humidität im allgemeinen, sondern eher das Vorhandensein extremer Niederschlagsverhältnisse erfaßt wird.

Zwei der Variablen mittlerer Ladung beschreiben die langfristige Flächennutzungsstruktur: den Anteil des Waldes und des *other land*¹³⁷ an der Landesfläche (FW_LA, OL_LA). Die Länder werden hier danach „beurteilt“, ob sie eher viel Wald und wenig *other land* haben oder umgekehrt. Welcher Anteil der Landesfläche hingegen landwirtschaftlich genutzt wird (AA_AA), ist für diesen Faktor nicht relevant. Eine weitere Variable beschreibt den Anteil der pflanzenbaulich genutzten Fläche, der im Durchschnitt des Referenzzeitraums mit Cassava bebaut wurde, einer Kultur, die vorwiegend in humiden Klimazonen angebaut wird.

Dies ist gleichzeitig der Faktor, auf den die *AEZ-ratio* am höchsten lädt ($l_{3,AEZ} = 0,54$). Zwar ist diese Variable eine von insgesamt sechs, die den Bevölkerungsdruck charakterisieren, jedoch ist sie insofern singulär - und somit von den übrigen abgrenzbar -, als sie als einzige die agrarökologische Tragfähigkeit mit berücksichtigt. Daß die *AEZ-ratio* hier zusammen mit den agroklimatischen Verhältnissen in einem Faktor gebündelt wird, ist allein schon deshalb plausibel, weil letztere Ausgangspunkt bei der Berechnung der agrarökologischen Tragfähigkeit und damit der *AEZ-ratio* sind.

Schließlich ist eine der beiden Abholzungsvariablen, DEF_ARE, mit einer mittleren Faktorladung von $l_{3,DEF_ARE} = 0,51$ vertreten. Sie erfaßt den Anteil der Landesfläche, der durchschnittlich pro Jahr zwischen 1981 und 1990 abgeholzt wurde.

¹³⁷ Mit der Kategorie *other land* wird von der FAO das Land erfaßt, daß weder bewaldet ist, noch der landwirtschaftlichen Nutzfläche zuzurechnen ist, also Ödland, Städte etc.

Insgesamt läßt sich der Faktor 3 dahingehend deuten, daß er die von den Humiditätsverhältnissen beeinflussten strukturellen Anteile Wald *versus other land* erfaßt, und – damit verbunden – den Spielraum bzgl. der agroklimatischen Tragfähigkeit, der in den 80er Jahren noch vorhanden war. Wichtig ist – und hier wird ein Vorteil der durchgeführten Faktorenanalyse greifbar –, daß die Zusammenhänge zwischen Klima und Waldanteil eines Landes ebenso wie zwischen Klima und durchschnittlich abgeholzter Landesfläche deutlich werden. Nur dort, wo die klimatischen Bedingungen dies ermöglichen, kann auch viel Wald wachsen und ein dementsprechend hoher Teil der *Landesfläche*¹³⁸ abgeholzt werden. Die Aufdeckung dieser Zusammenhänge ist unbedingt notwendig, um Fehlinterpretationen zu vermeiden: Bevor z.B. der Waldanteil oder Abholzungsdaten zur Erklärung von Bodenerosion¹³⁹ herangezogen werden, ist deutlich, daß sie kaum zu trennen sind von den Niederschlagsverhältnissen, wenn sie nicht sogar als Ausdruck derselben betrachtet werden können.

Tabelle 6-7: Faktorwerte (FW) des Faktors „Agroklimatische Bedingungen und Waldanteil“ für ausgewählte Länder¹⁾

Höchste Faktorwerte	FW	Niedrigste Faktorwerte	FW
GABON	2,25	SENEGAL	-1,14
CONGO, THE	1,78	IRAQ	-1,14
CENTRAL AFRICAN REPUBLIC	1,43	SUDAN	-1,22
MALAYSIA	1,36	TUNISIA	-1,24
LIBERIA	1,33	MAURITANIA	-1,27
SIERRA LEONE	1,31	LIBYA	-1,69
GHANA	1,23	SAUDI ARABIA	-1,82
CAMEROON	1,20	PAKISTAN	-1,87
ZAIRE	1,18	NIGER	-2,14
GUYANA	1,12	EGYPT	-2,98

¹⁾ 20 Länder mit den jeweils höchsten und niedrigsten Faktorwerten

Quelle: eigene Berechnungen

Faktor 4 - „Wachstum der Wertschöpfung in der Landwirtschaft“

Acht weitere Prozent der Gesamtvarianz aller Variablen werden durch einen Faktor erklärt, auf den vier Variablen mit den *labels* Armut bzw. Wohlstand und Wert der landwirtschaftlichen Nutzfläche in sich konsistent laden. Die Interpretation des Faktors wird schon dadurch erleichtert, daß es sich bei den Variablen ausschließlich um Wachstumsraten handelt, von denen sich zudem drei auf die Wertschöpfung in der Landwirtschaft

¹³⁸ Im Unterschied zur Abholzungsrate DEFN, die als Anteil der *Waldfläche* ausgedrückt wird.

¹³⁹ Vgl. z.B. einige der Analysen in BROWN und PEARCE (1994).

zwischen 1961 und 1990 beziehen: WVA, WVAPC und WVAPHA. Die vierte Variable, WCAL, quantifiziert das Wachstum der Pro-Kopf-Kalorienversorgung der Gesamtbevölkerung in ebendiesem Zeitraum. Zu erwähnen ist noch die Variable WTP (Wachstum der Gesamtbevölkerung), die mit $l_{4,WTP} = 0,48$ eine niedrige bis mittlere Faktorladung hat. Sie ist die einzige der drei Bevölkerungswachstumsraten, die sich auf die Gesamtbevölkerung bezieht.

Insofern geht es bei diesem Faktor zweifellos um das Wachstum der Wertschöpfung in der Landwirtschaft während des Betrachtungszeitraumes. Bei der Betrachtung der folgenden Tabelle 6-8 sollte präsent bleiben, daß es sich sowohl bei den Variablen für die Wertschöpfung als auch bei denen für die Kalorienversorgung um Länderdurchschnitte handelt, Verteilungsaspekte somit nicht berücksichtigt sind.

Tabelle 6-8: Faktorwerte (FW) des Faktors „Wachstum der Wertschöpfung in der Landwirtschaft“ für ausgewählte Länder¹⁾

Höchste Faktorwerte	FW	Niedrigste Faktorwerte	FW
SAUDI ARABIA	2,98	SENEGAL	-1,10
LIBYA	2,92	UGANDA	-1,31
IRAQ	1,67	LESOTHO	-1,36
ALGERIA	1,61	BANGLADESH	-1,38
SYRIA	1,50	SRI LANKA	-1,41
KOREA, REPUBLIC OF	1,26	CHAD	-1,55
RWANDA	1,26	NIGER	-1,84
CAMEROON	1,22	ARGENTINA	-1,88
BURUNDI	1,06	URUGUAY	-2,01
MALAYSIA	1,00	GUYANA	-2,18

¹⁾ 20 Länder mit den jeweils höchsten und niedrigsten Faktorwerten

Quelle: eigene Berechnungen

Faktor 5 - „Sophistizierung versus Extensivierung“

Auch in diesem Faktor, der noch fünf Prozent der Gesamtvarianz erklärt, sind ausschließlich Wachstumsraten relevant, von denen die drei höchstladenden das Wachstum des Tierbestandes (WAAA, WBAA, WAPP), zwei die Entwicklung der Landnutzung (WAA_LA, WPC_AA) und schließlich eine die Zunahme des Bevölkerungsdrucks (WAPOP_AA) kennzeichnen. Schon bei der Prüfung auf Konsistenz der Ladungsvorzeichen fällt auf, daß es hier um die Zunahme der Viehbesatzdichten auf einer im Zeitablauf eher konstant bleibenden landwirtschaftlichen Nutzfläche geht: Während die Faktorladungen der Wachstumsraten für den Tierbestand positive Vorzeichen tragen, weist die entsprechende Faktorladung für das Wachstum der landwirtschaftlichen Nutzfläche ein negatives Vorzeichen auf.

Da alle drei der drei möglichen Wachstumsraten für die Viehbesatzdichten bzw. der Intensivierung der Tierhaltung mittlere bis hohe Ladungen haben, ist ihre Relevanz für den Faktor unstrittig. Weniger eindeutig ist die Interpretation der Faktorladungen der anderen Variablen. Ein Zusammenhang zwischen der Zunahme der Viehdichten und der Entwicklung der Landnutzung wird nicht nur durch das negative Vorzeichen für das Wachstum der Nutzfläche im Referenzzeitraum deutlich. Ebenso lädt das Wachstum des Anteils Dauerkulturfäche positiv auf den Faktor ($l_{5,WPC_AA} = 0,66$).

Auf der anderen Seite zeigt der Faktor den Zusammenhang zwischen dem Wachstum des Tierbesatzes und einer steigenden landwirtschaftlichen Bevölkerungsdichte pro Hektar Landwirtschaftlicher Nutzfläche an. Die beiden anderen Größen, die das Bevölkerungswachstum beschreiben, WRP und WTP, haben zwar ebenfalls positive, aber sehr niedrige Faktorladungen. Versucht man von den genannten Wachstumsraten auf eine Art Entwicklungspfad zu schließen, so könnte diese Entwicklung in Richtung einer Erhöhung der Viehbesatzdichten und einer Ausdehnung der Dauerkulturfäche bei insgesamt geringem Wachstum der landwirtschaftlichen Nutzfläche gedeutet werden als eine Art „Sophistizierung der Produktionsrichtungen“¹⁴⁰ im Sinne der Zunahme der Produktion „hochwertigerer“ Produkte auf begrenztem Raum¹⁴¹. Umgekehrt ließen sich niedrige Faktorwerte deuten als Entwicklungsweg, der vor allem auf der Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche ohne erhöhte Viehbesatzdichten beruht.

Tabelle 6-9: Faktorwerte (FW) des Faktors „Sophistizierung versus Extensivierung“ für ausgewählte Länder¹⁾

Höchste Faktorwerte	FW	Niedrigste Faktorwerte	FW
GABON	2,59	PARAGUAY	-1,22
EGYPT	2,12	GUATEMALA	-1,25
CONGO, THE	1,92	NIGER	-1,28
SENEGAL	1,77	THAILAND	-1,40
SYRIA	1,73	LIBYA	-1,60
CENTRAL AFRICAN REPUBLIC	1,62	SURINAM	-1,60
NIGERIA	1,51	MAURITANIA	-1,61
ZAMBIA	1,43	BURUNDI	-1,64
ALGERIA	1,40	ECUADOR	-1,65
PAKISTAN	1,19	COSTA RICA	-1,68

¹⁾ 20 Länder mit den jeweils höchsten und niedrigsten Faktorwerten

Quelle: eigene Berechnungen

¹⁴⁰ Der Begriff Sophistizierung wird hier von dem englischen Terminus *sophistication* abgeleitet, der u.a. eine Verfeinerung, eine Entwicklung in Richtung anspruchsvollerer Lösungen bezeichnet.

¹⁴¹ Diese Interpretation wird auch dadurch gestützt, daß auch das Wachstum der Wertschöpfung pro Hektar, WVAPHA, eine niedrige, aber positive Faktorladung von $l_{5,WVAPHA} = 0,28$ aufweist.

Faktor 6 - „Hangneigung und Bodenbedingungen“

Dieser Faktor erfaßt noch 4,3% der Gesamtvarianz. Er bündelt ausschließlich Variablen, die sich auf die Hangneigungs- und Bodenverhältnisse beziehen - zwei von zwei möglichen Hangneigungs-Variablen und vier¹⁴² von fünf möglichen Boden-Variablen. Einzig der Anteil von Tonböden an der Gesamtfläche des Landes steht nicht in Zusammenhang mit dem Faktor. Ein hoher Anteil von Steilhängen (S3 und S2_3) geht hier einher mit einem hohen Anteil von Böden geringer Mächtigkeit (D1) bzw. einem geringen Anteil von tiefgründigen Böden (D4) sowie mit einem geringen Anteil Sandböden (T1). So kann dieser Faktor 6 als „Topographie- und Bodenfaktor“ oder, noch weiter zugespitzt, als „Landqualität“ interpretiert werden.

Am Rande zu erwähnen ist, daß die *AEZ-ratio* neben mittleren Faktorladungen bei den Faktoren „Strukturelle Landknappheit“ und „Agroklimatische Bedingungen“ auch auf diesen Faktor „Landqualität“ eine zwar niedrige, aber im Vergleich zu vielen der anderen Variablen beachtliche Ladung von $l_{6,AEZ} = -0,28$ aufweist. Das zeigt, daß die *AEZ-ratio* auf die Faktoren hoch lädt, auf deren Grundlage sie ursprünglich von der FAO berechnet wurde.

Tabelle 6-10: Faktorwerte (FW) des Faktors „Hangneigung und Bodenbedingungen“ für ausgewählte Länder¹⁾

Höchste Faktorwerte	FW	Niedrigste Faktorwerte	FW
HAITI	1,85	NIGERIA	-1,17
LESOTHO	1,80	INDIA	-1,20
PERU	1,63	ZAMBIA	-1,28
MYANMAR	1,52	BOTSWANA	-1,30
BOLIVIA	1,43	MAURITANIA	-1,37
SIERRA LEONE	1,40	CONGO, THE	-1,62
CHILE	1,40	BANGLADESH	-1,90
ETHIOPIA	1,37	ZAIRE	-1,91
DOMINICAN REPUBLIC	1,31	SURINAM	-2,42
KOREA, REPUBLIC OF	1,30	PARAGUAY	-2,54

¹⁾ 20 Länder mit den jeweils höchsten und niedrigsten Faktorwerten

Quelle: eigene Berechnungen

¹⁴² Bei Mitberücksichtigung des Anteils von Lehm Böden an der Gesamtfläche mit einer Faktorladung von 0,43.

Faktor 7 - „Ertragswachstum“

Weitere 3,5 Prozent der Gesamtvarianz aller Variablen werden durch den siebten Faktor erklärt. Alle drei hoch ladenden Variablen, MWWY, WYCE und WYCG, beziehen sich auf das Ertragswachstum der wichtigsten Ackerbaukulturen und damit auf alle drei möglichen, das Ertragswachstum quantifizierenden Variablen, die dem *label* Intensität zugeordnet sind. Vermutlich handelt es sich hier um einen Faktor, der dadurch zustande kommt, daß die drei Variablen sehr ähnlich definiert und möglicherweise formal korreliert sind.

Tabelle 6-11: Faktorwerte (FW) des Faktors „Ertragswachstum“ für ausgewählte Länder¹⁾

Höchste Faktorwerte	FW	Niedrigste Faktorwerte	FW
MYANMAR	2,09	BURUNDI	-1,09
ZAMBIA	1,78	SURINAM	-1,13
NIGERIA	1,73	HAITI	-1,42
URUGUAY	1,73	IRAQ	-1,42
INDONESIA	1,60	NEPAL	-1,43
LIBYA	1,51	THAILAND	-1,49
TANZANIA	1,29	SYRIA	-1,72
MAURITANIA	1,21	BOTSWANA	-1,79
CHILE	1,13	NIGER	-1,88
SAUDI ARABIA	1,10	SUDAN	-2,68

¹⁾ 20 Länder mit den jeweils höchsten und niedrigsten Faktorwerten

Quelle: eigene Berechnungen

Faktor 8 - „Historische Entwaldung“

Bei diesem Faktor, der 3,1 Prozent der Gesamtvarianz erklärt, geht es um Variablen der strukturellen Flächennutzungsform, vor allem um die Anteile, die die landwirtschaftliche Nutzfläche auf der einen Seite ($l_{8,AA_LA} = 0,87$) und Wald auf der anderen Seite ($l_{8,FW_AA} = -0,56$) an der Gesamtfläche eines Landes haben; die beiden Variablen haben entgegengesetzte Vorzeichen und sind grundsätzlich konsistent. Die dritte der Variablen, die die übergeordnete Flächennutzungsform beschreiben, hat nur eine sehr geringe Faktorladung. Grundsätzlich werden die Länder hier also danach beurteilt, ob sie eher viel Wald und wenig landwirtschaftliche Nutzfläche oder eine im Verhältnis zum Wald eher große landwirtschaftliche Nutzfläche haben.

Weiterhin haben diejenigen Variablen geringe, aber interpretatorisch hilfreiche Ladungen, die den absoluten und den relativen Bevölkerungsdruck unter Berücksichtigung der agrarökologischen Verhältnisse quantifizieren ($l_{8,MWTP_LA} = 0,41$, $l_{8,AEZ} = -0,45$), sowie

gewissermaßen deren Ergebnis, die Ausschöpfung des Anbaupotentials und CI ($l_{8,PCP_T} = 0,47$ und $l_{8,CI} = 0,38$). Beide Bevölkerungsvariablen beziehen sich auf den Druck, der langfristig von der Gesamtbevölkerung, also gewissermaßen von der Nachfrageseite ausgeht, nicht von der landwirtschaftlichen Bevölkerung ($l_{8,PDA} = 0,00$). Da es sich bei allen mittel und hoch ladenden Größen um strukturelle Größen handelt, die als Ergebnis sehr langfristiger Entwicklungen zu betrachten sind, könnte der Faktor auch in Zusammenhang gebracht werden mit der „historischen Entwaldung“ für landwirtschaftliche Zwecke

Unzweifelhaft ist - trotz grundsätzlicher Unabhängigkeit der Faktoren - eine gewisse Verwandtschaft mit den Faktoren „Strukturelle Landknappheit“ und „Agroklimatische Bedingungen“ bzw. Ausschöpfung der Tragfähigkeit zu erkennen. Diese beiden Faktoren kennzeichnen ebenfalls die „strukturelle“ oder langfristige Situation eines Landes. Gleichzeitig steht auch die Landnutzung in Verbindung mit Variablen des Bevölkerungsdrucks und der Ausnutzung des Anbaupotentials im Vordergrund - wenngleich mit ganz unterschiedlicher Schwerpunktsetzung, die dann für die formale Unabhängigkeit bzw. Orthogonalität der Faktoren verantwortlich ist.

Tabelle 6-12: Faktorwerte (FW) des Faktors „Historische Entwaldung“ für ausgewählte Länder¹⁾

Höchste Faktorwerte	FW	Niedrigste Faktorwerte	FW
BURUNDI	2,63	PERU	-1,15
BANGLADESH	2,08	CAMEROON	-1,17
SYRIA	2,03	CHILE	-1,26
URUGUAY	1,97	BURKINA FASO	-1,30
RWANDA	1,81	BOLIVIA	-1,41
LESOTHO	1,64	MYANMAR	-1,42
NIGERIA	1,55	BENIN	-1,47
SOMALIA	1,31	GUYANA	-1,54
INDIA	1,12	SURINAM	-1,84
SAUDI ARABIA	1,06	CENTRAL AFRICAN REPUBLIC	-2,05

¹⁾ 20 Länder mit den jeweils höchsten und niedrigsten Faktorwerten

Quelle: eigene Berechnungen

Faktor 9 - „Bodenart: Lehm- versus Tonböden“

Beide mittel und hoch ladenden Variablen dieses Faktors, der nur noch rd. 3 Prozent der Gesamtvarianz erklärt, beziehen sich auf die Anteile bestimmter Bodenarten an der Landesfläche: auf den Anteil Tonböden ($l_{9,T3} = -0,78$) und auf den Anteil Lehmböden ($l_{9,T2} = 0,61$). Die dritte Variable, die den Anteil Sandböden quantifiziert, weist nur eine schwache Faktorladung von $l_{9,T1} = 0,19$ auf. Der Faktor ist also in sich konsistent und

eindeutig interpretierbar. Er unterscheidet sich von dem anderen Bodenfaktor „Hangneigung und Bodenbedingungen“ vor allem dadurch, daß er unabhängig von der Hangneigung und Bodentiefe ausschließlich die Anteile der Lehm- und Tonböden beurteilt.

Tabelle 6-13: Faktorwerte (FW) des Faktors „Bodenart: Lehm- versus Tonböden“ für ausgewählte Länder¹⁾

Höchste Faktorwerte	FW	Niedrigste Faktorwerte	FW
SRI LANKA	2,34	SUDAN	-1,20
COTE D'IVOIRE	2,10	ZAMBIA	-1,24
TOGO	1,66	BRAZIL	-1,25
NIGER	1,53	VENEZUELA	-1,45
MOROCCO	1,39	MALAWI	-1,61
LIBYA	1,36	URUGUAY	-1,64
LIBERIA	1,31	DOMINICAN REPUBLIC	-1,73
SIERRA LEONE	1,25	LESOTHO	-1,84
TURKEY	1,21	HAITI	-1,98
GHANA	1,10	SURINAM	-2,62

¹⁾ 20 Länder mit den jeweils höchsten und niedrigsten Faktorwerten

Quelle: eigene Berechnungen

Faktor 10 - „Rezente Abholzung“

Obwohl dieser Faktor nur weitere 1,8 Prozent der Gesamtvarianz erklärt, ist er deshalb besonders interessant, weil er beide Abholzungsvariablen erfaßt: die durchschnittliche jährliche Abholzungsrate im Zeitraum 1981 bis 1990, einmal ausgedrückt als Anteil am Waldbestand (DEFN) und einmal als Anteil an der Landesfläche (DEF_ARE). Es handelt sich zweifellos um einen „Abholzungsfaktor“. Auffällig ist, daß es keine anderen Variablen mittlerer oder hoher Ladungen gibt, was auch daran liegen mag, daß die Variablen DEFN und DEF_ARE sich nur auf einen Teil des Referenzzeitraums beziehen¹⁴³. Die beiden Variablen mit den nächsthöchsten Ladungen sind das ländliche und das gesamte Bevölkerungswachstum ($l_{10,WRP} = 0,39$; $l_{10,WTP} = 0,37$). Das Wachstum der landwirtschaftlichen Bevölkerung hat hingegen nur eine Ladung von 0,09. Dies könnte darauf hinweisen, daß die erhöhten Abholzungsraten eher im Zusammenhang mit dem Wachstum der Nachfrage nach Brennholz und Agrarprodukten seitens der ländlichen und der Gesamtbevölkerung zu sehen sind, als mit einem verstärkten Druck auf das Land durch das Wachstum der in der Landwirtschaft beschäftigten Bevölkerung.

¹⁴³ Grundlage für die Abholzungsdaten sind Daten aus den Jahren 1981 bis 1990.

Tabelle 6-14: Faktorwerte (FW) des Faktors „Rezente Abholzung“ für ausgewählte Länder¹⁾

Höchste Faktorwerte	FW	Niedrigste Faktorwerte	FW
COSTA RICA	1,88	EGYPT	-1,32
PHILIPPINES, THE	1,84	IRAQ	-1,35
THAILAND	1,49	SURINAM	-1,38
PARAGUAY	1,46	TURKEY	-1,46
BANGLADESH	1,28	MAURITANIA	-1,52
HONDURAS	1,26	CENTRAL AFRICAN REPUBLIC	-1,53
ECUADOR	1,16	URUGUAY	-1,67
DOMINICAN REPUBLIC	1,11	RWANDA	-1,73
TANZANIA	1,03	BURUNDI	-2,10
MALAYSIA	1,02	KOREA, REPUBLIC OF	-2,80

¹⁾ 20 Länder mit den jeweils höchsten und niedrigsten Faktorwerten

Quelle: eigene Berechnungen

Faktoren 11 bis 16

Die Faktoren 11 bis 16 werden hier zusammengefaßt interpretiert. Sie tragen mit insgesamt rund 13 Prozent zur Erklärung der Gesamtvarianz bei. **Faktor 11** bezeichnet den Anteil der Anbaufläche eines Landes, der subhumid ist ($l_{11,SH} = 0,82$) und - damit in Zusammenhang - die Anteile an der Anbaufläche, die mit Kulturen der Klassen 3 bzw. 4 bebaut werden ($l_{11,MWAP4} = 0,58$, $l_{11,MWAP3} = -0,58$). Je größer der Anteil subhumider Anbauflächen, desto eher können Weizen und Reis angebaut werden, je geringer, desto eher werden Mais, Sorghum, Kartoffeln und Bohnen angebaut.

Faktor 12 hat das absolute Wachstum der Dauerkulturfläche, $WAHK_{12}$, eines Landes im Referenzzeitraum zum Inhalt ($l_{12,WAHK12} = 0,76$). Ein schwer deutbarer Zusammenhang besteht mit den durchschnittlichen Getreideerträgen ($l_{12,MWYCG} = 0,56$, $l_{12,MWYCE} = 0,46$).

Faktor 13 kennzeichnet das Wachstum des Anteils Dauergrünland an der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Referenzzeitraum ($l_{13,WPP_LA} = -0,79$).

Faktor 14 bezieht sich auf das absolute Wachstum der Erntefläche von Kulturen der Erosivitätsklasse 3 ($l_{14,WAHK3} = 0,75$).

Auf **Faktor 15** läßt das Wachstum der Düngemittelintensität im Referenzzeitraum hoch. Da auch das Wachstum der Traktorendichte ($l_{15,WTR_APS} = 0,24$) und das Wachstum des relativen Anteils von Ackerland an der landwirtschaftlichen Nutzfläche ($l_{15,WAR_AA} = 0,37$)

positive Ladungen haben, könnte hier eine Intensivierung gemeint sein, die mit einer Verschiebung der Landnutzung hin zum Ackerbau zu tun hat.

Faktor 16 schließlich bezeichnet das Wachstum der Erntefläche von Cassava und Yam, WAHK5 ($I_{16,WAHK5} = 0,86$).

Vier dieser sechs Faktoren haben also Veränderungen in der Anbaustruktur zum Inhalt, die beiden übrigen bezeichnen klimatische Gegebenheiten und die Intensivierung der Landnutzung. Es bleibt darauf hinzuweisen, daß die Variablen, die hoch auf die Faktoren 11 bis 16 laden, sehr niedrige MSA-Werte haben und damit für die Faktorenanalyse eher ungeeignet sind. Obwohl die Measure of Sampling Adequacy als Kriterium für die Aufnahme von Variablen in die Faktorenanalyse bewußt unberücksichtigt bleibt, hilft sie zu verstehen, warum gerade diese Variablen „eigene“ Faktoren haben.

6.3.2 Ergänzende Analysen

Mit Hilfe der ergänzenden Analysen soll einerseits geprüft werden, ob anhand der beim Analysetyp (1) gewählten Rotationsmethode (Varimax) und Faktorextraktionsmethode (Kaiser-Kriterium) die Datenstruktur besonders eindeutig und stabil wiedergegeben wird. Zum Vergleich wird zusätzlich eine schiefwinklige „Oblimin“-Rotation durchgeführt sowie – in Abweichung vom Kaiser-Kriterium – als Extraktionskriterium eine bestimmte Anzahl zu extrahierender Faktoren festgelegt.

Andererseits sollen Faktorenanalysen anhand verschiedener Ausgangsvariablen-Sets Aufschluß darüber geben, ob und wie sich die im Analysetyp (1) berechneten Faktoren durch die Herausnahme ähnlich definierter Variablen (Analysetypen (2) und (3)) und für verschiedene Erosionsformen (Analysetypen (4a) und (4b)) verändern und welche Implikationen sich hieraus für die Kausalanalyse ergeben.

Schiefwinklige Rotation der Faktoren beim Analysetyp (1)

Ein Vergleich der Ergebnisse mit denen einer schiefwinkligen Rotation ist besonders insofern interessant, als anzunehmen ist, daß gerade in der Landwirtschaft komplexe Interdependenzen zwischen natürlichen, landnutzerischen und ökonomischen Faktoren vorliegen. So kann anhand einer schiefwinkligen Rotation nicht nur die Stabilität der Faktoren bei Variation der Rotationsmethode geprüft werden, es wird auch aufgezeigt, ob und in welcher Höhe Korrelationen zwischen den Faktoren bestehen.

Grundsätzlich ändert sich an dem Faktorenmuster bei schiefwinkliger Rotation sehr wenig (vgl. Ergebnisse im Tabelle A-6.7, Anhang 6): Bis auf zwei zu erläuternde Faktoren bleiben die extrahierten Faktoren bzw. die auf sie mittel bis hoch ladenden Variablen fast identisch, es gibt geringfügige Verschiebungen bei der Bedeutung dieser Faktoren für

die Erklärung der Gesamtvarianz. Auffällig ist, daß aus den Faktoren „Strukturelle Landknappheit“, „Agroklimatische Bedingungen“ und „Übergeordnete Flächennutzungsintensität: Wald *versus* landwirtschaftliche Nutzfläche“ diejenigen Variablen herausgefiltert und zu einem eigenen Faktor zusammengefaßt werden, die mit dem Tragfähigkeitsspielraum für das Bevölkerungswachstum zu tun haben: AA_LA, FW_LA, PCP_T, AEZ und CI. Dies erstaunt um so weniger, als eine „Verwandtschaft“ zwischen den drei genannten Faktoren schon bei der Analyse der orthogonalen Faktoren deutlich wurde. Der so entstandene Faktor hat den zweithöchsten Eigenwert. Die agroklimatischen Bedingungen, die vorher in Zusammenhang mit den Tragfähigkeitsvariablen standen, haben nun den niedrigsten Eigenwert. Diese Verschiebung ist insofern von Bedeutung, als klar wird, daß der noch vorhandene Spielraum für ein weiteres Bevölkerungswachstum zwar unbedingt in Zusammenhang zu sehen ist mit den agroklimatischen - und bodenmäßigen - Bedingungen, aber durchaus eine gewisse Eigenständigkeit aufweist. Bei der Wahl von Repräsentanten der Faktoren für die Regressionsanalyse sollte er dementsprechend getrennt von - bzw. neben - den agroklimatischen Bedingungen ebenfalls als Variable aufgenommen werden.

Erstaunlicherweise sind die Korrelationen zwischen den Faktoren ausnahmslos niedrig. Die höchste Korrelation weisen die Faktoren „Strukturelle Landknappheit“ und „Hangneigung und Bodenbedingungen“ mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,31 auf (s. Tabelle 6-15 auf der folgenden Seite). Die insgesamt niedrigen Korrelationskoeffizienten zeigen, daß die Varimax-Rotation durch die Annahme orthogonaler Strukturen nicht zu wesentlichen Verzerrungen bei der Interpretation der Datenstruktur führt. Somit können die orthogonalen, Varimaxrotierten Faktoren, die aus Gründen der Verminderung von Multikollinearität einer schiefwinkligen Rotation vorzuziehen sind, als hinreichend unverzerrte Grundlage für die weiteren Berechnungen betrachtet werden.

Tabelle 6-15: Faktorkorrelationsmatrix bei Oblimin-Rotation, Analysetyp (1)

	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6	F 7	F 8	F 9	F 10	F 11	F 12	F 13	F 14	F 15	F 16
F 1	1,00															
F 2	0,17	1,00														
F 3	-0,08	0,03	1,00													
F 4	-0,23	0,03	0,09	1,00												
F 5	0,14	-0,04	0,09	-0,13	1,00											
F 6	0,11	0,01	0,02	-0,11	0,07	1,00										
F 7	-0,06	0,12	-0,17	0,15	-0,22	0,02	1,00									
F 8	0,06	-0,09	-0,11	-0,18	0,13	0,01	-0,03	1,00								
F 9	0,31	0,22	0,00	-0,10	0,19	0,03	-0,12	0,02	1,00							
F 10	0,25	-0,01	0,04	-0,02	0,02	0,13	-0,01	-0,02	0,08	1,00						
F 11	-0,05	-0,12	-0,01	-0,05	-0,02	0,15	-0,07	0,11	-0,10	0,13	1,00					
F 12	-0,10	0,08	-0,04	0,15	-0,09	-0,15	0,08	-0,13	0,02	-0,07	-0,15	1,00				
F 13	0,18	-0,06	-0,01	-0,11	0,22	-0,07	-0,11	0,11	0,11	0,07	-0,02	-0,03	1,00			
F 14	-0,12	0,03	-0,13	0,12	0,00	0,11	0,20	-0,02	-0,08	0,00	0,08	0,02	-0,11	1,00		
F 15	-0,10	0,01	-0,06	0,03	0,10	-0,18	-0,01	0,10	0,04	-0,16	-0,05	0,01	0,06	0,00	1,00	
F 16	-0,07	0,13	0,00	0,02	-0,09	-0,20	0,02	-0,01	0,06	-0,15	-0,23	0,11	-0,09	-0,08	0,07	1,00

Legende:

F1: Strukturelle Landknappheit	F9: Hangneigung und Anteil Böden geringer Mächtigkeit
F2: Ausnutzung der Tragfähigkeit	F10: Wachstum Dauerkulturfläche
F3: Wohlstandswachstum in der Landwirtschaft	F11: Wachstum Erntefläche Klasse „3“
F4: Sophistizierung der Produktion	F12: Zunahme Düngemittelintensität
F5: Ertragswachstum	F13: Relatives Wachstum Dauergrünland
F6: Abholzung 1981-1990	F14: Subhumidität
F7: Strukturelle Armut	F15: Wachstum Cassava- / Yamfläche
F8: Bodenart: Hoher Ton- vs. Lehmanteil	F16: Humidität

Die Variablen sind jeweils so ausgedrückt, daß ein positiver Wert einhergeht mit hohem Bevölkerungsdruck, einer großen Ausnutzung der Tragfähigkeit, einem großen Wohlstandswachstum etc.

Quelle: eigene Berechnungen

Variation der Faktorenanzahl beim Analysetyp (1)

Da das Kaiser-Kriterium letztlich kein objektives ist, das zur Extraktion einer optimalen Anzahl von Faktoren führt¹⁴⁴, werden fünf weitere Faktorenanalysen mit der Vorgabe von 14, 15, 17, 18 und schließlich von zehn Faktoren durchgeführt, die gleichzeitig Auskunft über die Stabilität der Faktoren des 16-Faktoren-Modells geben. Ziel dabei ist es, die vorhandenen Strukturen möglichst klar zu erkennen und darzustellen, im Sinne einer maximalen Trennschärfe der Faktoren bei orthogonaler Struktur. Die Ergebnisse dieser Faktorenanalysen finden sich im Anhang 6, (Tabellen A-6.8.1 bis A-6.8.5).

¹⁴⁴ Optimal in dem Sinne, daß die Datenstruktur möglichst klar wiedergegeben wird.

Bei der Reduktion der Faktorenzahl auf 15 bzw. 14 Faktoren fallen - im Vergleich zum ursprünglichen Faktorenmodell - zunächst Faktor 14, dann Faktor 16 weg, und die auf diese Faktoren hoch ladenden Variablen WAHK3 und WAHK5 werden anderen Faktoren zugeordnet: WAHK3 lädt nun am höchsten auf den Faktor „Ertragswachstum“, im 15-Faktoren-Modell mit einer Faktorladung von $l_{\text{WAHK3}} = -0,43$ ¹⁴⁵, im 14-Faktoren-Modell mit $-0,45$, des weiteren auf die Faktoren „Wohlstandswachstum“ (0,32) und „Wachstum der Dauerkulturfläche“ (0,34). WAHK5 wechselt beim Übergang vom 15- zum 14-Faktoren-Modell zum Faktor „Abholzung“, auf den es im 15-Faktoren-Modell mit $l_{\text{WAHK5}} = 0,34$ positiv lädt; auf den Faktor „Zunahme der Düngemittelintensität“ lädt die Variable mit 0,31. Die Art der Aufteilung oder Neuordnung der Faktoren 14 und 16 bzw. der auf sie hoch ladenden Variablen ist interpretatorisch grundsätzlich plausibel und macht - nicht zuletzt wegen der niedrigen Faktorladungen - eine Umdeutung der Faktoren, denen sie nun zugeordnet sind, nicht erforderlich.

Umgekehrt führt die Zugrundelegung von 17 bzw. 18 Faktoren zur Entkopplung oder Verselbständigung einzelner Variablen: Zunächst wird im 17-Faktoren-Modell ein zusätzlicher Faktor für das Wachstum der Gesamtbevölkerung extrahiert. WTP lädt mit 0,72 hoch auf diesen Faktor, während die Variablen für das Wachstum der Landbevölkerung, WRP und WAPOP (0,43 und 0,35) und vor allem die Abholzungs-Variablen DEFN und DEF_ARE nur noch niedrige Ladungen haben (0,17 und 0,10). Im 18-Faktoren-Modell bleibt dieser neue Faktor zwar formal bestehen, verliert aber erheblich an Interpretierbarkeit, weil die Faktorladungen insgesamt sehr niedrig sind: WTP lädt nur noch mit 0,44 auf diesen Faktor, die höchste Ladung hat der Anteil Dauerkulturen MWAP12 mit 0,48. Letztlich ist das Wachstum der Gesamtbevölkerung eine Variable, die bei etlichen Faktoren eine mittlere Ladung hat, also bei verschiedenen Faktoren mit eine Rolle spielt - was wenig verwundert. Dennoch sollte die Entkopplung des Bevölkerungswachstums von den Abholzungsvariablen im 17- und 18-Faktoren-Modell als Hinweis darauf verstanden werden, daß der inhaltliche, u.U. kausale Zusammenhang zwischen beiden nicht überinterpretiert werden darf.

Weiterhin wird im 18-Faktoren-Modell ein eigener Faktor für das Wachstum der Ernte- fläche der Kulturen der Erosivitätsklasse 4, zu denen vorwiegend Getreide und Reis zählen, extrahiert. Neben WAHK4 (0,72) haben der Anteil Armer an der ländlichen Bevölkerung (RP_N: $-0,45$), das Wachstum der Gesamtbevölkerung (WTP: 0,37) und das Wachstum der Kalorienversorgung (WCAL: 0,35) niedrige, aber zu beachtende Faktorladungen. Dieser neue Faktor ist grundsätzlich konsistent und durchaus interpretierbar.

¹⁴⁵ Im folgenden wird die Indizierung der Faktornummer, „i“ weggelassen, da die Numerierung der Faktoren sich von einer Faktorenanalyse zur anderen ändert und ihre Angabe daher nur verwirren würde.

Auffällig ist, daß bei Extraktion von 18 Faktoren bereits drei der vier Variablen, die die Veränderung des *crop-mix*, also der Anbaustruktur kennzeichnen, gesonderte Faktoren haben. Dies bedeutet zunächst nur, daß die Zusammenhänge dieser Variablen mit den übrigen relativ schwach sind, was sich auch in ihren relativ niedrigen MSA-Werten widerspiegelt. Darüber hinaus könnte es als Zeichen dafür gewertet werden, daß tatsächlich andere als die in die Faktorenanalyse einbezogenen Größen mit diesen Veränderungen des *crop mix* in Zusammenhang stehen oder für sie maßgeblich sind. Es ist zu vermuten, daß hier insbesondere die Preisentwicklung der in den jeweiligen Erosivitätsklassen zusammengefaßten Kulturen sowie Veränderungen anderer produktspezifischer Markt- und Politikbedingungen von Bedeutung sind, für deren Einbeziehung in die Faktorenanalyse keine ausreichenden Daten vorhanden sind.

Angeichts dessen, daß die Faktoren 11 bis 16 des Ausgangsmodells nur relativ wenig zur Erklärung der Gesamtvarianz beitragen, wird darüber hinaus eine Faktorenanalyse mit der Vorgabe der Extraktion von nur zehn Faktoren durchgeführt. Erwartungsgemäß wird das Ausgangsmodell hierdurch um eben die sechs Faktoren mit dem geringsten Eigenwert reduziert, die restlichen zehn Faktoren erklären immerhin noch 73 Prozent der Gesamtvarianz. Sämtliche auf sie hoch ladenden Variablen werden auf sachlogisch nachvollziehbare Weise den ersten zehn Faktoren zugeordnet, worauf im einzelnen nicht eingegangen wird. Erwähnenswert ist lediglich, daß der Faktor „Abholzung“ nun wiederum enger mit den Variablen des Bevölkerungsdrucks verbunden ist ($I_{DEFN} = 0,53$; $I_{DEF_AREF} = 0,43$; $I_{WTP} = 0,48$, $I_{WRP} = 0,44$) und daß auch die Landnutzungsvariablen, die das Wachstum der ackerbaulich genutzten Fläche erfassen, geringe bis mittlere Faktorladungen aufweisen ($I_{WAHK4} = 0,67$; $I_{WAHK3} = 0,42$; $I_{WAR_AA} = 0,34$).

Sämtliche Ergebnisse der Stabilitätsanalysen - sowohl die der schiefwinkligen Rotation als auch die der Faktorenanalysen bei Vorgabe einer variierenden Faktoranzahl - weisen dementsprechend auf eine hohe Stabilität des Ausgangsmodells „Analysetyp (1)“ hin, vor allem auf die Stabilität der für die Erklärung der Gesamtvarianz wichtigsten zehn von insgesamt 16 extrahierten Faktoren, deren Interpretation in keinem Fall grundlegend revidiert werden muß.

Analysetypen (2) und (3)

Bei dem Analysetyp (2) (s. S. 144) werden aus den 52 berücksichtigten Variablen bei Anwendung des Kaiser-Kriteriums 13 Faktoren extrahiert, anhand derer 81 Prozent der Gesamtvarianz aller Variablen erklärt werden. Die extrahierten Faktoren (vgl. Anhang 6, Tabelle A-6.9) sind mit denen des ersten Analysetyps fast identisch, allein der Faktor „Übergeordnete Flächennutzungsintensität: Landwirtschaftliche Nutzfläche *versus* Wald“ fällt weg, weil die entsprechende höchstladende Variable *AA_LA* nicht unter den Ausgangsvariablen ist; *FW_LA* wird hinreichend durch den Faktor „Agroklimatische Bedingungen“ abgedeckt, bei dem die Variable hier die höchste Faktorladung hat ($I_{FW_LA} =$

0,82). Die Variablen, die im Analysetyp (1) auf die Faktoren 12, 15 und z.T. auch 13 laden, werden hier gebündelt zu einem Faktor. Dieser kennzeichnet ein hohes Wachstum der Dauerkulturfläche bzw. der Kulturen der Erosivitätsklassen 1 und 2 ($I_{WAHK12} = 0,71$) bei gleichzeitig geringem durchschnittlichen Anteil dieser Kulturen an der Anbaufläche ($I_{MWAP12} = -0,54$).

Die Anzahl der Ausgangsvariablen wird beim Analysetyp (3) weiter reduziert auf 42. Unter den Ausgangsvariablen sind nur Variablen, die mit den Erosionsindizes insgesamt oder für eine bestimmte Erosionsform korreliert sind. Die Gesamtvarianz dieser 42 Variablen kann - wiederum bei Zugrundelegung des Kaiser-Kriteriums - anhand von 12 Faktoren zu rund 83 Prozent erklärt werden.

Auch hier bleiben die Faktoren grundsätzlich stabil (vgl. Anhang 6, Tabelle A-6.10). Drei der ursprünglichen Faktoren entfallen ganz, weil die entsprechenden, im Analysetyp (1) hoch ladenden Variablen nicht unter den Ausgangsvariablen sind. Es handelt sich um folgende Faktoren:

- „Strukturelle Armut“. Bis auf RP_N und WCAL fallen alle, also fünf von ursprünglich sieben Armutsindikatoren weg. RP_N und WCAL laden beide am höchsten auf einen Faktor, der die Anbaustruktur bzgl. der Grundnahrungskulturen der Länder einordnet ($I_{MWAP3} = 0,83$ und $I_{MWAP4} = -0,74$; $I_{RP_N} = 0,72$ und $I_{WCAL} = 0,45$). Das heißt, daß der im Analysetyp (1) als „Subhumiditätsfaktor“ identifizierte Faktor seinen Charakter hier eher hin zu dem auch vorher schon vermuteten „Armuts-Reichtums-Grundnahrungskultur-Faktor“ verändert. Wichtig ist, daß die beiden übrig bleibenden Armutsindikatoren weiterhin gemeinsam einem Faktor zugeordnet werden, zu dem sie sachlogisch passen.
- „Abholzung“. Dies verwundert wenig, da DEFN nunmehr die einzige Abholzungsvariable ist. DEFN hat bei etlichen Faktoren niedrige bis mittlere Ladungen, die höchsten bei dem Faktor „Zunahme des Anteils Dauergrünland“ (I_{DEFN} beim Faktor „Zunahme Dauergrünland“: 0,45; beim Faktor „Strukturelle Landknappheit“: 0,29; beim Faktor „Übergeordnete Flächennutzungsintensität“: 0,29). Das zeigt, daß die Abholzung - gemessen als durchschnittliche jährliche Abholzungsrate 1981-1990 in Prozent der Waldfläche - im Kontext der anderen 41 Variablen, die mit der Bodenerosion relativ hoch und signifikant korreliert sind, gewissermaßen das Gegenteil eines Faktors darstellt: Sie steht mit verschiedenen, voneinander unabhängigen Variablenbündeln in - relativ losem - Zusammenhang.
- „Wachstum der Dauerkulturfläche“ und „Wachstum der Düngemittelintensität“, die beide eher geringe Eigenwerte haben (EW_{F12} : 1,4, EW_{F16} : 1,1). Der Grund für ihren Wegfall ist wiederum, daß die auf sie hoch ladenden Variablen keine hohen Korrelationen mit der Bodenerosion aufweisen und deshalb nicht in die Faktorenanalyse des Analysetyps (3) aufgenommen werden.

Als wichtigstes Ergebnis der Faktorenanalysen des Typs (2) und (3) bleibt festzuhalten, daß das Zulassen einiger formal korrelierter Variablen im Analysetyp (1) offensichtlich keine gravierenden Verzerrungen bei den extrahierten Faktoren bewirkt.

Analysetypen (4a) und (4b)

Wie weiter oben beschrieben (s. S. 144), wird in den Analysetypen (4a) und (4b) untersucht, ob es sinnvoll ist, aus den Variablen, die relativ hohe und signifikante Einzelkorrelationen mit der Wassererosion bzw. mit der Winderosion aufweisen, gesondert Faktoren zu extrahieren. Herausarbeiten ist, welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede es gibt

- zwischen den beiden Analysen und den bereits durchgeführten Analysen (1), (2) und (3), bei denen die Variablenauswahl ohne Berücksichtigung der Bedeutung der Variablen für einzelne Erosionsformen getroffen wird und
- zwischen den Faktoren der Analysen für Wasser- und Winderosion.

Wassererosion

Die 27 Variablen, die mit der Wassererosion relativ hoch korrelieren, lassen sich auf sieben Faktoren reduzieren, welche rund 77 Prozent ihrer Gesamtvarianz erklären. Fast alle diese Faktoren haben einen deutlichen Bezug zu den Faktoren des Ausgangsmodells (vgl. Anhang 6, Tabelle A-6.11): So gibt es wiederum die Faktoren „Strukturelle Landknappheit / Bevölkerungsdichte“, „Agroklimatische Bedingungen“ - mit etwas stärkerer Betonung des Aspektes der Tragfähigkeit -, „Sophistizierung *versus* Extensivierung“, „Subhumidität“ und „Wachstum der Ackerbaufläche“ (vergleichbar mit Faktor 14 des Ausgangsmodells 1). Bzgl. des Faktors „Sophistizierung *versus* Extensivierung“ ist zu erwähnen, daß seine Interpretation insofern ergänzt wird, als sich zu den hoch ladenden Variablen noch das „Wachstum der Wertschöpfung in der Landwirtschaft“, WVAPHA, mit einer Faktorladung von 0,77 hinzugesellt, was die Interpretation des Faktors im Ausgangsmodell noch bestätigt.

Zwei der sieben Faktoren weichen allerdings in ihrem Charakter von den Ausgangsfaktoren ab und sollten neu gedeutet werden. Der eine dieser Faktoren erklärt fast 6 Prozent der Gesamtvarianz. Eine hohe und mittlere Ladung haben die beiden Faktorintensitäts-Variablen TR_AA und FERT_AA ($I_{TR_AA} = 0,76$ und $I_{FERT_AA} = 0,65$), womit eine Interpretation im Sinne eines die durchschnittliche Produktionsmittelintensität erfassenden Faktors naheliegt. Auch die anderen Variablen, die niedrige bis mittlere Ladungen aufweisen, passen in dieses Bild. So geht eine hohe durchschnittliche Produktionsmittelintensität einher mit einem eher geringen Anteil landwirtschaftliche Nutzfläche an der Gesamtfläche des Landes, mit einem eher hohen Anteil von Flächen mit starker Hangneigung und mit eher hohen durchschnittlichen Hektarerlösen.

Weiterhin entsteht ein Mischfaktor, dessen eindeutige Interpretation auch durch das Fehlen besonders hoher Faktorladungen erschwert wird. In ihm werden folgende Variablen zusammengefaßt: der Anteil an Steilhängen eines Landes ($I_{S3} = 0,50$), der Anteil sandiger ($I_{T1} = -0,67$) bzw. lehmiger ($I_{T2} = 0,59$) Böden, die Abholzungsrate DEFN ($I_{DEFN} = 0,61$), der durchschnittliche Gesamtbevölkerungsdruck ($I_{MWTP_LA} = 0,54$), der Anteil Landwirtschaftlicher Nutzfläche an der Gesamtfläche des Landes, der Anteil Acker- und Dauerkulturfläche mit humidem Klima. Die Variablen passen also sachlogisch gut zueinander - natürliche Bedingungen / Bevölkerungsdruck / Abholzung -, dennoch ist es schwer, sie unter einem Begriff zu subsumieren.

Darüber hinaus fallen - wie zu erwarten - im Vergleich zum Analysetyp (1) diejenigen Faktoren weg, deren hoch ladende Variablen nicht mit der Bodenerosion durch Wasser korreliert und deswegen nicht in der Analyse 4a berücksichtigt sind. Dies sind die Faktoren „Strukturelle Armut“, „Ertragswachstum“, „Bodenart: Lehm- versus Tonböden“ sowie die ursprünglichen Faktoren 12 bis 16, die sich auf die Veränderung der Anbaustrukturen und der Düngemittelintensität beziehen.

Winderosion

Bei der Analyse für Winderosion werden - diesmal nur aus 25 mit dem Winderosions-Index relativ hoch korrelierten Variablen - sieben Faktoren extrahiert, die insgesamt 76 Prozent der Gesamtvarianz erfassen (vgl. Anhang 6, Tabelle A-6.12). Wiederum haben die Faktoren mit einigen der vorangegangenen Analysen 1, 2 und 3 Ähnlichkeit. Andererseits unterscheidet sich der größte Teil der Faktoren deutlich von den Faktoren, auf die die Variablen des Modells Wassererosion reduziert wurden. Allein die hinsichtlich der Erklärung der Gesamtvarianz weiterhin bedeutendsten Faktoren „Strukturelle Landknappheit“ und „Agroklimatische Bedingungen“ sind ähnlich den entsprechenden Faktoren der Faktorenanalyse für Wassererosion. Darüber hinaus sind vier weitere Faktoren aus den Analysen (1) bis (3) bekannt: eine Art „Armuts-Reichtums-Grundnahrungskultur-Faktor“ (vgl. Analysetyp (3)), das „Ertragswachstum“, die vorherrschende „Bodenart“ und das „Wachstum der Produktionsmittelintensitäten“. Neu hinzu kommt ein Faktor, auf den die durchschnittlichen Flächenanteile der Kulturen der Erosivitätsklassen 1 und 2, also von Dauerkulturen ($I_{MWAPI2} = 0,69$) und die Zunahme der Pro-Kopf-Kalorienversorgung im Referenzzeitraum ($I_{WICAL} = 0,63$) zwar relativ hoch laden, der aber gerade wegen dieser Kombination und wegen des Fehlens anderer hoch ladender Variablen, die das Bild ergänzen könnten, nicht eindeutig interpretierbar ist.

Insgesamt läßt sich für die Faktorenanalysen (4a) und (4b), in die die mit Wind- und Wassererosion in Zusammenhang stehenden Variablen gesondert einbezogen werden, folgendes sagen:

- fast alle in den beiden Modellen extrahierten Faktoren haben einen deutlichen Bezug zu den Faktoren der Ausgangsanalysen (1), (2) und (3);
- die Faktoren „Strukturelle Landknappheit“ und „Agroklimatische Bedingungen“ kommen in beiden Analysen, (4a) und (4b), vor und haben - ebenso wie in den Analysen (1) bis (3)¹⁴⁶ - den größten Anteil an der Erklärung der Gesamtvarianz;
- die weiteren Faktoren der Analysen für Wasser- und Winderosion weichen voneinander ab und sind in ihrem Faktormuster jeweils verschiedenen Faktoren der Ausgangsanalysen (1) bis (3) ähnlich.

Gerade die letzten beiden Punkte könnten als Hinweis darauf verstanden werden, daß es - wenn man die Gesamtheit der durchgeführten Faktorenanalysen betrachtet - zwei Arten von Faktoren gibt: auf der einen Seite eine Art „übergeordnete“ Faktoren, die „Strukturelle Landknappheit / Ackerbauliche Ausrichtung und Intensität der Landnutzung“ und die „Agroklimatischen Bedingungen“. Unabhängig davon, ob mögliche Einflußvariablen der Bodendegradation insgesamt oder die der Wasser- und Winderosion getrennt betrachtet werden, tragen diese Faktoren beträchtlich zur Erklärung der Gesamtvarianz bei. Gerade weil dies auch in den Faktormodellen der Fall ist, die ausschließlich auf mit der Bodenerosion relativ hoch korrelierten Variablen basieren (Analysetypen (3), (4a) und (4b)), kann schon an dieser Stelle vermutet werden, daß diese übergeordneten Faktoren möglicherweise auch in kausalem Zusammenhang mit der Bodenerosion insgesamt und mit den beiden wesentlichen Erosionsformen Wasser- und Winderosion stehen.

Auf der anderen Seite stehen Faktoren, die für jede Erosionsform „spezifisch“ sind. Obwohl dieses Ergebnis nicht überrascht, da ja auch die einzelnen Variablen, die in den spezifischen Faktoren gebündelt werden, verschieden hoch mit den beiden Erosionsformen korrelieren, hat es für die Durchführung und Interpretation der Regressionsanalysen große Bedeutung. Erstens legt das Vorhandensein spezifischer Faktoren unbedingt nahe, über ein Gesamtmodell hinaus gesonderte Regressionsanalysen für Wasser- und Winderosion durchzuführen. Diese Modelle unterscheiden sich hinsichtlich der anfänglich zu integrierenden unabhängigen Variablen - bzw. Repräsentanten für die „spezifischen Faktoren“. Bei der Interpretation dieser partiellen Regressionsmodelle müssen die unabhängigen Variablen stets im Kontext der anderen Variablen des von ihnen repräsentierten „spezifischen Faktors“ betrachtet werden. Zweitens ist bei der Interpretation

¹⁴⁶ Nur im Modell AT1 hat der Faktor „Armut“ einen etwas höheren Eigenwert als der Faktor „Agroklimatische Bedingungen“, was an dieser Stelle aber wenig relevant ist, da Armutsindikatoren weder in (4a) noch in (4b) eingehen.

des Gesamtmodells unter Einschluß von Repräsentanten aller Faktoren genau darauf zu achten, welche Variablen „übergeordneten“ und welche „spezifischen“ Charakter haben. Da der Einfluß der „spezifischen“ Variablen auf die beiden betrachteten Erosionsformen u.U. gegenläufig ist und jeweils für Faktoren mit voneinander abweichender Bedeutung steht, muß bei ihrer Interpretation im Gesamtmodell sehr zurückhaltend vorgegangen werden.

6.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Faktorenanalysen (1) bis (3) sowie (4a) und (4b) sind in Tabelle 6-16 auf der folgenden Seite zusammengefaßt dargestellt. Für jede Analyse sind die Anzahl der berücksichtigten Variablen in der ersten Zeile, die Anzahl der Faktoren mit einem Eigenwert größer als eins in der zweiten Zeile, das sich hieraus ergebende Verhältnis der Anzahl Faktoren und Variablen in der dritten Zeile sowie der von den Faktoren mit einem Eigenwert größer als eins erklärte Anteil der Gesamtvarianz des jeweiligen Modells in der vierten Zeile aufgeführt. Schließlich wird noch die *Measure of Sampling Adequacy* (MSA) als Kriterium der grundsätzlichen faktorenanalytischen Eignung der Ausgangsvariablen in der fünften Zeile genannt. Es wird folgendes deutlich:

- **In allen fünf Faktorenanalysen wird die Struktur der Daten durch eine Reduktion der Variablenanzahl auf etwa ein Viertel so viele Faktoren klar wiedergegeben. Der erklärte Gesamtvarianzanteil beträgt mindestens 76 Prozent und höchstens 86 Prozent und wird damit als durchaus zufriedenstellend betrachtet.**

Darunter - in der sechsten Zeile - sind für jede Analyse die wichtigsten Faktoren - maximal zehn - bzw. die aus ihrer Interpretation abgeleiteten Bezeichnungen, geordnet nach der Höhe ihres Eigenwertes, aufgelistet. Um die relative Bedeutung der einzelnen Faktoren und von Faktorenbündeln innerhalb eines Faktorenmodells zu verdeutlichen, steht rechts neben jedem Faktor der kumulative Beitrag zur Erklärung der Gesamtvarianz. Hier wurden deshalb die kumulativen Werte gewählt, weil aus ihnen bei der Wahl eines bestimmten Mindest-Erklärungsanteils hervorgeht, wieviele Faktoren nötig sind, um ihn zu erreichen. Wichtig ist:

- **Sämtliche Faktoren sind bzgl. der Art der hoch ladenden Variablen und der Richtung der hohen Faktorladungen in sich konsistent und - bis auf zwei Ausnahmen - sehr gut interpretierbar.**

Das in der Literatur zur Faktorenanalyse teilweise als interpretatorisches Problem charakterisierte Vorliegen von Variablen, die aufgrund hoher Ladungen auf verschiedene Faktoren mehreren Faktoren zuzuordnen sind, tritt hier zwar auf, wird aber keinesfalls als problematisch erachtet. Vertreter dieses Variablentyps sind beim Analysetyp (1) z.B. das Bevölkerungswachstum, das Wachstum der landwirtschaftlichen Nutzfläche, die

Tabelle 6-16: Vergleich der Ergebnisse der Faktorenanalysen - Analysetypen (1), (2), (3), (4a) und (4b)

KRITERIEN	Analysetyp (1)		Analysetyp (2)		Analysetyp (3)		Analysetyp (4a)		Analysetyp (4b)	
Ausgangsvariablen	Vollständiges Set		Set ohne ähnliche Variablen		Nur Variablen, die mit Erosion korreliert sind		Variablen, die mit Wasser-erosion korreliert sind		Variablen, die mit Wind-erosion korreliert sind	
Anzahl Variablen	62		52		42		27		25	
Anzahl Faktoren mit Eigenwert > 1	16		13		12		7		7	
Faktoren/Variablen [%]	26 %		25 %		29 %		26 %		28 %	
Erklärter Anteil der Gesamtvarianz [%] ¹⁾	86 %		81 %		83 %		77 %		76 %	
MSA ²⁾	0,43		0,59		0,61		0,72		0,63	
	Wichtigste Faktoren u. Erklärungsanteil an der Gesamtvarianz [kum.%]		Wichtigste Faktoren u. Erklärungsanteil an der Gesamtvarianz [kum.%]		Wichtigste Faktoren u. Erklärungsanteil an der Gesamtvarianz [kum.%]		Wichtigste Faktoren u. Erklärungsanteil an der Gesamtvarianz [kum.%]		Wichtigste Faktoren u. Erklärungsanteil an der Gesamtvarianz [kum.%]	
	Strukturelle Landknappheit	21	Strukturelle Landknappheit	20	Strukturelle Landknappheit	24	Strukturelle Landknappheit	33	Strukturelle Landknappheit	23
	Armut	33	Agroklimat. Bedingungen	33	Agroklimat. Bedingungen	38	Agroklimat. Bedingungen	44	Agroklimat. Bedingungen	42
	Agroklimat. Bedingungen	43	Armut	45	Armut und Anbaustruktur	46	Mischfaktor ³⁾	54	Armut und Anbaustruktur	51
	Wachstum Wertschöpfung in der Landwirtschaft	51	Wachstum Wertschöpfung in der Landwirtschaft	52	Wachstum Wertschöpfung in der Landwirtschaft	54	Sophistikation versus Extensivierung	62	Ertragswachstum	59
	Sophistikation versus Extensivierung	56	Sophistikation versus Extensivierung	57	Hangneigung und Bodenbedingungen	60	Input-Intensität	67	Intensivierung der Düngung	66
	Hangneigung und Bodenbedingungen	61	Hangneigung und Bodenbedingungen	62	Sophistikation versus Extensivierung	64	Wachstum Anteil Dauergrünland	72	Lehm- vs. Tonböden	71
	Ertragswachstum	64	Extensivierung	65	Historische Entwaldung	68	Subhumidität	77	Anteil Dauerkulturfläche	76
	Historische Entwaldung	67	Subhumidität	68	Ertragswachstum	71				
	Lehm- vs. Tonböden	70	Rezente Abholzung	71	Intensivierung der Düngung	75				
	Rezente Abholzung	73	Lehm- vs. Tonböden	74	Lehm- vs. Tonböden	77				

Quelle: eigene Berechnungen

¹⁾: Anteil der Gesamtvarianz (GV), der durch Faktoren mit EW < 1 erklärt wird.²⁾: MSA = Measure of Sampling Adequacy nach Kaiser, Meyer und Olkin³⁾: In diesem Mischfaktor enthalten sind Variablen zu Bodenart, Hangneigung, Abholzung, Bevölkerungsdichte und zum Klima.

AEZ-ratio und der Ausnutzungsgrad des Anbaupotentials *PCP_T*. Sachlogisch ist es nicht nur nachvollziehbar, daß derartige Größen mit verschiedenen der extrahierten Faktoren in Zusammenhang stehen, es wäre sogar überraschend und böte Anlaß zur Skepsis bzgl. der Datengrundlage, wenn dem nicht so wäre.

- **Als wichtigste¹⁴⁷ Faktoren werden im Ausgangsmodell (1) drei Faktoren aus dem Bereich der natürlichen Bedingungen, vier Faktoren, die sich auf die Art und Intensität der Flächennutzung und Landnutzung beziehen - teilweise in Zusammenhang mit dem Bevölkerungsdruck - und drei Faktoren, die den Wohlstand der Länder kennzeichnen, extrahiert. An dieser Struktur ändert sich auch in den anderen Faktormodellen wenig.**

Bemerkenswert ist, daß fast alle extrahierten Faktoren einen deutlichen Bezug zu den in der Literatur diskutierten Wirkungsketten zwischen sozioökonomischen und landnutzerischen Größen haben, die für die Bodenerosion relevant sein könnten. Da die Variablenwahl für die empirische Analyse sich in erster Linie an den Hypothesen der Literatur orientiert, scheint dies auf den ersten Blick wenig überraschend. Jedoch werden die Variablen unabhängig voneinander in die Faktorenanalyse aufgenommen, und es ist keineswegs selbstverständlich, daß sie mittels der Analyse auf nationalem Niveau ebenso zusammengefaßt werden, wie in der Literatur beschrieben. Als Nebeneffekt der Faktorenanalyse werden also gewissermaßen einige der Hypothesen zur Interdependenz sozioökonomischer Rahmenbedingungen und der Landnutzung bestätigt - hier zeigt sich gewissermaßen ein konfirmatorischer Charakterzug dieser eigentlich explorativen Faktorenanalyse.

- **Die Faktoren des Ausgangsmodells (1) sind auch bei Variation der Extraktions- und Rotationsmethoden sowie bzgl. einer Veränderung der Ausgangsvariablen stabil.**

Vor allem die für die Erklärung der Gesamtvarianz wichtigsten Faktoren bleiben sowohl bei Variation der Rotationsmethode (schiefwinklige „Oblimin-Rotation“) als auch bei Variation der Extraktionsmethode durch die Vorgabe der Anzahl zu extrahierender Faktoren bzgl. ihres jeweiligen Variablenmusters grundsätzlich konsistent, d.h. die Höhe und Richtung der Faktorladungen der hoch ladenden Variablen bleiben ähnlich. Darüber hinaus zeigt eine Korrelationsanalyse im Rahmen der schiefwinkligen Rotation der Ausgangslösung des Analysetyps (1), daß die den Faktoren des Ausgangsmodells sehr ähnlichen Faktoren voneinander weitgehend unabhängig sind. Wichtigstes Ergebnis der Faktorenanalysen des Typs (2) und (3) ist, daß die Aufnahme einiger formal korrelierter Variablen im Analysetyp (1) offensichtlich keine gravierenden Verzerrungen bei den extrahierten Faktoren bewirkt.

¹⁴⁷ Hier sind vereinfachend die zehn Faktoren mit den höchsten Eigenwerten gemeint. Sie erklären im Ausgangsmodell (1) 73 Prozent der Gesamtvarianz.

Als Detailergebnisse der ergänzenden Analysen, die auch für die Wahl von Repräsentanten bei den Regressionsanalysen bedeutsam sind, werden festgehalten:

- **Der vorhandene agrarökologische Spielraum für das weitere Bevölkerungswachstum eines Landes (AEZ-ratio) sollte bei der Wahl von Faktorrepräsentanten für die Regressionsanalyse neben den agroklimatischen Bedingungen als eigenständige Variable aufgenommen werden (vgl. S. 166).**
- **Ebenso sollte die Abholzungsrate DEFN, deren Zusammenhang mit dem Bevölkerungsdruck nicht eindeutig ist und die mit verschiedenen, voneinander unabhängigen Variablenbündeln in Zusammenhang steht, als eigenständige Variable berücksichtigt werden (vgl. S. 168).**
- **Für die Anbaustrukturen und deren Veränderung kann aufgrund der hohen Unabhängigkeit der entsprechenden Variablen in den Faktorenanalysen vermutet werden, daß tatsächlich andere als die betrachteten Größen mit ihnen in Zusammenhang stehen. Von Bedeutung könnten insbesondere die Preisentwicklung der in den jeweiligen Erosivitätsklassen zusammengefaßten Kulturen sowie Veränderungen anderer produktspezifischer Markt- und Politikbedingungen sein, für deren Einbeziehung in die Analyse keine ausreichenden Daten vorhanden sind (vgl. S. 169).**
- **Weil die Faktorstrukturen bei Einzelbetrachtung von Wasser- und Winderosion bis auf zwei „übergeordnete“ Faktoren voneinander abweichen, sollten für beide Erosionsformen auch in der Regressionsanalyse separate Modelle analysiert werden (vgl. S. 173).**

Auch bei der Interpretation der Regressionsergebnisse für das Gesamtmodell, in dem Repräsentanten von Faktoren sowohl der Wasser- als auch der Winderosion bzgl. ihres Einflusses auf die Bodenerosion geprüft werden, ist darauf zu achten, welche Variablen eher einer spezifischen Erosionsform zuzuordnen sind und welche eher „übergeordneten“ Charakter haben.

Insgesamt werden anhand der Faktorenanalyse die verfolgten Ziele der Datenstrukturierung und Datenreduktion erreicht. Unter der Vielzahl möglicher Einflußvariablen werden Strukturen deutlich, die zum Großteil gut interpretierbar sind. Die Extraktion stabiler Faktoren auch für die Einflußvariablen einzelner Erosionsformen schafft die Grundlage nicht nur für die Reduktion der Variablenanzahl anhand von weitgehend voneinander unabhängigen Faktorrepräsentanten und für die damit verbundene Verringerung von Multikollinearitätsproblemen, sondern auch für eine umfassende Interpretation der im folgenden Kapitel vorgestellten Regressionsmodelle.

Auf ein Nebenergebnis sei an dieser Stelle abschließend hingewiesen. Ausgangspunkt für die Wahrnehmung dieses Nebenergebnisses ist, daß die *AEZ-ratio* auf verschiedene Faktoren relativ hoch lädt, nämlich auf die Faktoren „Agroklimatische Bedingungen“, „Übergeordnete Flächennutzungsintensität“, „Strukturelle Landknappheit“ und „Hangneigung und Bodenbedingungen“. Dies überrascht kaum angesichts der Tatsache, daß die *AEZ-ratio* das Verhältnis zwischen der Tragfähigkeit eines Landes – berechnet auf der Grundlage agroklimatischer und bodenmäßiger Gegebenheiten und ausgedrückt als „tragbare“ Bevölkerungsdichte - und dem tatsächlichen Bevölkerungsdruck wiedergibt. Erstaunlich ist vielmehr, daß die Variable auf subnationalen Erhebungen beruht. In der Faktorenanalyse werden aber die Zusammenhänge zwischen dem national aggregierten *AEZ*-Wert und national aggregierten Variablen für Bodenqualität, klimatische Bedingungen und Bevölkerungsdichte analysiert. Trotz des zu vermutenden Informationsverlustes durch Aggregation auf das nationale Niveau zeigt sich, daß bei der *AEZ-ratio* der Bezug zu ihrer Berechnungsgrundlage bestehen bleibt. Diese inhaltliche Übereinstimmung zwischen dem subnationalen Berechnungsprinzip der *AEZ-ratio* und den Ergebnissen der auf Grundlage national aggregierter Daten durchgeführten Faktorenanalyse zeigt, daß ein hoher Aggregationsgrad zumindest in diesem Fall nicht zu gravierenden inhaltlichen Verzerrungen führt. Gerade angesichts der hohen Korrelationen zwischen Variablen des Bevölkerungsdrucks und Bodenerosion hat dieses Nebenergebnis einen nicht zu unterschätzenden Wert für die wissenschaftliche Einschätzung des der empirischen Analyse zugrundeliegenden Aggregationsniveaus.

7 Bestimmung der relativen Bedeutung von Determinanten der Bodenerosion: Regressionsanalysen

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Korrelations- und Faktorenanalysen wird in diesem Kapitel untersucht, welche der möglichen Bestimmungsfaktoren in Zusammenhang mit dem Ausmaß der Bodenerosion in Entwicklungsländern stehen, und welche relative Bedeutung dabei einzelnen sozioökonomischen und landnutzerischen Rahmenbedingungen zukommt. Im ersten Abschnitt werden die Datengrundlage, die berechneten Modelltypen und die allgemeine Vorgehensweise vorgestellt (7.1). Dann werden die Ergebnisse der Regressionsschätzungen für verschiedene Klimazonen und Erosionsformen erläutert (7.2). Schließlich wird geprüft, inwieweit die regressionsanalytischen Prämissen bzgl. der Multikollinearität, der Verteilung der Variablen sowie der Unabhängigkeit und Verteilung der Residuen eingehalten werden (7.3). Für drei wichtige Variablen aus den Bereichen Armut und Preisentwicklung, die in der Faktorenanalyse wegen unzureichender Datenverfügbarkeit nicht berücksichtigt werden konnten, werden zusätzlich ergänzende Faktoren- und Regressionsanalysen anhand einer reduzierten Länderanzahl durchgeführt (7.3).

7.1 Modelltypen und Vorgehensweise

Modelltypen

Im Vorfeld der Regressionsanalyse muß zunächst entschieden werden, welche Variablen Eingang in die Analyse finden sollen. Als abhängige Variablen werden, in Analogie zum Vorgehen bei den Korrelations- und Faktorenanalysen, verschiedene Erosionsindizes einzeln betrachtet. Dadurch können Modelle für die Bodenerosion insgesamt, für einzelne Erosionsformen und für verschiedene Klimazonen berechnet werden.

Bei der Auswahl der Variablen, deren Einfluß auf Bodenerosion untersucht werden soll, werden die Ergebnisse sowohl der Faktorenanalyse als auch der Korrelationsanalysen als Kriterien hinzugezogen. Einer der wenigen Autoren, die dieses Vorgehen beschreiben, ist JOLIFFE:

„In particular, when there is not a clear cut choice of which variable to associate with a particular PC [Principal Component], the choice should be determined by looking at the strength of the relationships between the candidate variables and the dependent variable.“ (JOLIFFE, 1986, S. 145).

Als Hauptvorteil gegenüber anderen Methoden der Auswahl von Repräsentantenvariablen, die sich allein an der Höhe der rotierten Faktorladungen orientieren, nennt er:

„The method therefore takes into account the regression context of the problem...“ (ebda., 1986, S. 145).

Für jeden der im 16-Faktoren-Modell extrahierten Faktoren wird dementsprechend eine repräsentative Variable als unabhängige Variable für das Regressionsmodell ausgewählt. Diese Variable muß eine der hoch ladenden Variablen sein ($F_{ij} > 0,7$)¹⁴⁸ und sollte einen möglichst hohen, signifikanten Korrelationskoeffizienten mit dem jeweils betrachteten Erosionsindex haben. Wenn keine der hoch ladenden Variablen hoch mit dem Erosionsindex korreliert, wird die Variable mit der maximalen Faktorladung in das Modell integriert. Da verschiedene Erosionsindizes betrachtet werden und die Einfachkorrelationen der einzelnen Variablen mit den Erosionsindizes verschieden hoch sind, variiert das Repräsentanten-Set dementsprechend je nach Modelltyp bzw. Erosionsindex. Prinzipiell werden die Variablen in der selben Form (Originalwerte oder logarithmierte Werte) in die Regressionsanalyse einbezogen, in der sie zuvor in der Faktorenanalyse verwendet wurden, damit sie den Faktor möglichst genau wiedergeben¹⁴⁹. Eine Liste der pro Modell verwendeten Repräsentantenvariablen befindet sich im Anhang 7, Tabellen A-7.1.1 bis A-7.1.4. Zur Veranschaulichung der jeweiligen Bedeutung der Repräsentanten-Variablen werden die Korrelationen aller auf einen Faktor hoch ladenden Variablen mit den verschiedenen Erosionsindizes auch auf der rechten Seite der nach rechts aufklappbaren Tabelle A-6.6(a) dargestellt.

Entsprechend den Ergebnissen der Faktorenanalysen (vgl. Abschnitt 6.3.1, S.) sollen die Variablen *AEZ-ratio* und DEFN, die den Tragfähigkeitsspielraum Ende der 80er Jahre und die Abholzungsraten in den 80er Jahren erfassen, in allen Modellen mitberücksichtigt werden. In dem Fall, daß die beiden Variablen nach dem beschriebenen Verfahren zur Auswahl von Repräsentantenvariablen nicht direkt als unabhängige Variablen ausgewählt werden, wird das Modell zunächst ohne sie und in einem weiteren Schritt mit ihnen geschätzt.

Um zusätzliche Informationen ausschließlich über die relative Bedeutung verschiedener anthropogener Determinanten zu erhalten, werden einzelne Modelle auch ohne Berücksichtigung der natürlichen Bedingungen bzw. Faktoren berechnet. Es ist zu erwarten, daß die Modelle ohne natürliche Faktoren tendenziell unterspezifiziert sind. Insgesamt werden 16 Modelle betrachtet, die sich bzgl. des Erosionsindex und – auf der Seite der unabhängigen Variablen – darin unterscheiden, ob die natürlichen Bedingungen sowie die *AEZ-ratio*¹⁵⁰ mit berücksichtigt werden oder nicht (vgl. Tabelle 7-1).

¹⁴⁸ Nur in Ausnahmefällen, bei denen große Unterschiede bzgl. der Korrelationskoeffizienten mit Bodenerosion vorliegen, können auch Variablen mit einer Faktorladung $> 0,5$ als Repräsentanten gewählt werden.

¹⁴⁹ Ergänzend werden sämtliche Regressionsanalysen auch auf der Basis von ausschließlich logarithmierten (\ln) Variablen durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Anhang 7, Tabelle A-7.2.3, tabellarisch wiedergegeben.

¹⁵⁰ DEFN ist ohnehin unter den Modellvariablen enthalten.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß die in den klimatischen Untergruppen K4_x, K6, E_{K12}, W_{K4} und C_{K4} analysierten Stichproben klimatisch und bzgl. der Landnutzung homogener sind als die Stichproben bei Betrachtung aller Länder. Dieser Vorteil geht aber zu Lasten der Stichprobengröße.

Tabelle 7-1: Liste der 16 berechneten Modelle und Fallzahlen (n)

WEC	Flächenanteil eines Landes, der von Bodenerosion insgesamt betroffen ist:	
WEC_1	...ohne natürliche Bedingungen, ohne Tragfähigkeitsvariable (AEZ)	(n=73)
WEC_2	...ohne natürliche Bedingungen, mit Tragfähigkeitsvariable (AEZ)	(n=73)
WEC_n	...mit natürlichen Bedingungen	(n=73)
W	Flächenanteil eines Landes, der von Wassererosion betroffen ist:	
W_wn	...ohne natürliche Bedingungen	(n=73)
W_n	...mit natürlichen Bedingungen	(n=73)
W _{K4}	...Klimazone 4 (mittleres Klima) mit natürlichen Bedingungen	(n=26)
E	Flächenanteil eines Landes, der von Winderosion betroffen ist:	
E_wn	...ohne natürliche Bedingungen	(n=38)
E_n	...mit natürlichen Bedingungen	(n=38)
E _{K12}	...Klimazonen 1 und 2 (extrem arid und arid) mit natürlichen Bedingungen	(n=12)
C	Flächenanteil eines Landes, der von Nährstoffverlusten betroffen ist:	
C_wn	...ohne natürliche Bedingungen	(n=52)
C_n	...mit natürlichen Bedingungen	(n=52)
C _{K4}	...Klimazone 4 (mittleres Klima) mit natürlichen Bedingungen	(n=22)
K...	Flächenanteil eines Landes einer bestimmten Klimagruppe, der von Bodenerosion insgesamt betroffen ist:	
K4_1	Mittlere Klimazone, mit natürlichen Bedingungen, AA_LA als Repräsentant für den Faktor "Historische Entwaldung"	(n=26)
K4_2	Mittlere Klimazone, mit natürlichen Bedingungen, FW_LA als Repräsentant für den Faktor "Historische Entwaldung"	(n=26)
K4_3	Mittlere Klimazone, mit natürlichen Bedingungen, AEZ-ratio als Repräsentant für den Faktor "Historische Entwaldung"	(n=26)
K6	Humide Klimazone, alle Erosionsformen, mit natürlichen Bedingungen	(n=13)

Quelle: eigene Darstellung

In Ergänzung zu den durchgeführten Regressionsanalysen wird im Abschnitt 7.3 geprüft, ob unter den Variablen, die zwar hohe Korrelationskoeffizienten mit einzelnen Erosionsindizes aufweisen, für die aber nicht genug Werte vorliegen, um sie in die 73-Länder-Faktorenanalyse aufzunehmen, einzelne Bedeutung und Bestand im Regressionsmodell haben. Im Vordergrund steht die Variable DGWP, die den durchschnittlichen, nach Anbauanteilen gewichteten Preisanstieg für die wichtigsten in einem Land produzierten Produkte im Referenzzeitraum quantifiziert. Weiterhin werden zwei Armutsvariablen untersucht: RP_AREA für den geschätzten Anteil der Fläche eines Landes, der Mitte der 80er Jahre von Armen bewirtschaftet wird, und FVP für den Anteil *functionally vulnerable population* unter der Landbevölkerung zu etwa derselben Zeit.

Modellwahlverfahren

Auf der Basis der 16 Ausgangsvariablen-Sets werden nun anhand multipler Regressionsanalysen diejenigen Variablen identifiziert, die tatsächlich Bedeutung für die Schätzung der jeweiligen abhängigen Variablen haben. Zwei Verfahren kommen dabei zur Anwendung:

- Es werden mit Hilfe eines schrittweisen Modellwahlverfahrens nur die bedeutendsten Variablen in das Modell aufgenommen.
- Die Bedeutung der einzelnen Variablen wird unter Einschluß aller 16 Faktorrepräsentanten in das Modell untersucht (im folgenden: Einschlußverfahren).

Die Vor- und Nachteile dieser beiden Verfahren beschreibt GREENE folgendermaßen:

„On the one hand, there is a presumption that there is a ‘true model’ known a priori. If so, orthodoxy dictates that the researcher will compute only a single regression and report the results. Of course, this is hardly likely, and in practice, some exploratory work is always necessary. There is, however, good reason to be sceptical of a ‘model’ that is constructed entirely by mechanical means.“ (GREENE, 1997, S. 401)

Da hier nicht von einem gegebenen, zu überprüfenden Modell ausgegangen wird, steht das schrittweise Vorgehen eindeutig im Vordergrund der Analyse. Die Ergebnisse der Modelle unter Einschluß aller 16 Faktorrepräsentanten sollen lediglich helfen, die „mechanisch“ erzeugten Ergebnisse zu überprüfen. Das ist vor allem auch wegen der heterogenen Datenqualität (*happenstance-data*) angebracht, wie bereits in Kapitel 4 erwähnt. Sollten die Ergebnisse zwischen beiden Verfahren stark differieren, muß dies bei der Interpretation berücksichtigt werden.

Das hier gewählte schrittweise Vorgehen stellt eine Kombination aus vorwärts- und rückwärtsgerichteten Modellfindungsverfahren dar (englisch: *stepwise regression*). Die Variablen werden vorwärtsgerichtet, Schritt für Schritt in das Modell aufgenommen, wobei Höhe und Signifikanz der Einfachkorrelationen mit der abhängigen Variable

bzw. der partiellen F-Statistik-Werte ausschlaggebend für die Reihenfolge der Aufnahme in das Modell sind¹⁵¹. Bei jedem Schritt werden die partiellen F-Statistik-Werte der bereits aufgenommenen Variablen erneut (rückwärtsgerichtet) daraufhin überprüft, ob sie sich durch die Aufnahme der letzten Variablen derart verändern, daß sie unter einer vorab festgelegten Untergrenze liegen – in diesem Fall werden sie wieder aus dem Modell entfernt. Auf diese Weise können Kollinearitäten zwischen den unabhängigen Variablen berücksichtigt werden. Das Verfahren ist in dem Moment abgeschlossen, in dem der partielle F-Statistik-Wert der letzten in das Modell aufzunehmenden Variablen das Mindestniveau für diesen Wert unterschreitet (vgl. MONTGOMERY und PECK, 1992, S. 291 f. und 296; GREENE, 1997, S. 399 ff.). Im vorliegenden Fall wird nicht der F-Wert selbst, sondern sein Signifikanzniveau dem Verfahren zugrunde gelegt. Variablen, deren partieller F-Wert mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p > 0,05$ größer oder gleich dem entsprechenden F-Tabellen-Wert ist, werden nicht in das Modell aufgenommen. Im vorliegenden Fall ist zwar davon auszugehen, daß Multikollinearitätsprobleme durch die vorgeschaltete Faktorenanalyse weitgehend reduziert werden konnten; dennoch sind Korrelationen zwischen den Variablen, die die orthogonalen Faktoren repräsentieren, nicht ganz auszuschließen. Deshalb wird das schrittweise Vorgehen hier dem aufwärtsgerichteten vorgezogen.

Überprüfung wichtiger Voraussetzungen der Regressionsanalyse

Obwohl die ausgewählten Variablen jeweils voneinander unabhängige Faktoren repräsentieren, sind Multikollinearitätsprobleme, die sich aus hohen Korrelationen der unabhängigen Repräsentanten-Variablen ergeben können, nicht völlig auszuschließen. Für jedes Variablenpaar, das nach dem schrittweisen Verfahren in ein Modell integriert wird, wird deswegen der Korrelationskoeffizient nach PEARSON berechnet und analysiert. So können zwar lediglich paarweise Korrelationen aufgedeckt werden; dennoch ist eine weitere Multikollinearitätsanalyse wegen der vorab durchgeführten Faktorenanalyse nicht notwendig (vgl. MONTGOMERY und PECK, S. 314 ff.).

Alle Variablen, die in einer oder mehreren der insgesamt 16 Modellvarianten als Faktor-Repräsentanten enthalten sind, werden auf ihre Verteilung in der jeweiligen Stichprobe hin untersucht. Da es sich bei den Stichproben jeweils um wohldefinierte Teilmengen handelt, kann somit eine Aussage über die Verteilung der Variablen in dieser Teilmenge und damit über die Homogenität der exogenen Größen in der Teilmenge getroffen werden. Ebenso wie die Verteilung der Variablen für die 73-Länder-Stichprobe bereits anhand des *Kolmogorow*-Tests untersucht wurde, können auch die Stichproben der anderen Modellvarianten mit weniger als 50 Ländern mit diesem Test untersucht werden, da dieser auch für kleine Stichproben geeignet ist (vgl. RÖNZ et al., 1994, S. 187). Wiederum werden sowohl die Original-Werte der Variablen als auch die mit dem natürli-

¹⁵¹ Eine Beschreibung verschiedener Modellfindungsverfahren findet sich bei MONTGOMERY und PECK, 1992, S. 265 ff.

chen Logarithmus transformierten Werte untersucht.

Die Residuen der 16 Modelle werden daraufhin untersucht, ob (a) ihre Verteilung im Widerspruch zur Annahme der Normalverteilung steht und der erwartete Wert im Mittel Null ist, und ob (b) ihre Varianz annähernd konstant ist.

7.2 Ergebnisse für verschiedene Klimazonen und Erosionsformen

Die wichtigsten Ergebnisse der Regressionsanalysen sind auf der folgenden Seite aufgelistet (Tabelle 7-2). Die Spaltenüberschriften stehen für die jeweils betrachtete abhängige Variable, die verwendeten Abkürzungen entsprechen den bereits erklärten. In der Tabelle sind die Ergebnisse der schrittweisen Regressionanalysen, in Anhang 7, Tabelle A-7.2.2 zusätzlich diejenigen für Regressionen unter Einschluß aller Repräsentantenvariablen wiedergegeben. Ebenso sind im Anhang die Ergebnisse für die schrittweisen Regressionsanalysen unter Zugrundelegung von ausnahmslos logarithmierten Werten wiedergegeben (Tabelle A-7.2.3).

Für jeden signifikanten Faktorrepräsentanten ist die Höhe des jeweiligen standardisierten Regressionskoeffizienten (β) angegeben. Die Variablen sind nach den Faktorrepräsentanten geordnet. Da die *AEZ-ratio* nicht eindeutig einem einzigen Faktor zuzuordnen ist, aber am ehesten zu Faktor 8 gehört, ist sie durch eine gestrichelte Linie leicht von den anderen Variablen dieses Faktors abgesetzt. Faktoren, deren Repräsentanten in keinem Fall signifikante Regressionskoeffizienten aufweisen (Irrtumswahrscheinlichkeit $> 0,1$), sind aus eben diesem Grund nicht in der ersten Spalte der Tabelle enthalten. In den untersten beiden Zeilen sind für jedes Modell das Bestimmtheitsmaß r^2 und das entsprechende, um Stichprobengröße und Anzahl der unabhängigen Variablen korrigierte Bestimmtheitsmaß r^2_{KORR} angegeben.

Tabelle 7-2: Ergebnisse der Regressionsschätzungen für verschiedene Erosionsformen und Klimazonen bei schrittweisem Einschlußverfahren¹⁾

FAKTOR	Variable	Bodenerosion WEC			Wassererosion W			Winderosion E			Nährstoffverluste C			Bodenerosion Klima			
		_1 n=73	_2 n=73	_n n=73	_wn n=73	_n n=73	W _{K4} n=26	_wn n=38	_n n=38	E _{K12} n=12	_wn n=52	_n n=52	C _{K4} n=22	K4_1 n=26	K4_2 n=26	K4_3 n=26	K6 n=13
Agroklimatische Bedingungen Hangneigung und Bodenbedingungen Subhumidität	H'																
	PMM_A						0,35**						0,56**				
	S3'						0,38**										
	S2_3																
Historische Entwaldung	SH						0,25*										
	AA_LA				0,31**	0,23*							0,29*	0,63**			
	FW_LA	-0,59**						-0,49**					-0,46*	-			
Rezente Abholzung	AEZR'		-0,69**	-0,69**			-0,82**							0,64**			
														-			
														0,78**			
Strukturelle Landknappheit	DEFN'	0,23*	0,19*	0,19*	0,33**	0,19*	0,37**										0,87**
Sophistikation vs. Extensivierung	AR_AA'				0,39**	0,21*								0,49**	0,35*		
	ARPC_AA'																-0,43*
	VAPHA'																
Ertragswachstum	WAAA				-0,21*												
Wachstum Dauerkulturfläche	WYCG							-0,38*									
Intensivierung der Düngung	WAHK12										-0,29*	-0,44**	-0,55**				
Const.	WFER_AP								0,33**	0,69*							
r ²		0,01 ^(*)	0,05 ^(*)	0,05 ^(*)	-0,06 ^(*)	-0,03 ^(*)	-0,03 ^(*)	-0,15 ^(*)	-0,45**	0,81 ^(*)	0,09 ^(*)	-0,02 ^(*)	0,74**	-0,25 ^(*)	0,08 ^(*)	0,08 ^(*)	-0,24 ^(*)
r ² _{KORR}		0,41	0,54	0,54	0,47	0,59	0,74	0,39	0,54	0,44	0,07	0,38	0,43	0,65	0,63	0,59	0,69

Quelle: eigene Berechnungen

¹⁾ Aufgeführt sind die standardisierten beta-Koeffizienten derjenigen Variablen, die in der jeweiligen Regressionsschätzung signifikant sind, sowie die Bestimmtheitsmaße r^2 und das korrigierte Bestimmtheitsmaß r^2_{KORR} für die gesamte Schätzung. Bei den Schätzungen, in denen die natürlichen Bedingungen nicht berücksichtigt werden, sind die entsprechenden Spalten grau unterlegt. Zu den für die einzelnen Modelle verwendeten Abkürzungen in den Spaltenköpfen s. Legende auf S. 182. Variablen mit logarithmierten Werten sind mit einem "'" gekennzeichnet. Signifikanz des t-Wertes der Variablen: **: < 0,01; *: < 0,05; (*): < 0,1.

Bevor die Ergebnisse der einzelnen Modelle besprochen werden, sei auf folgende Punkte hingewiesen:

- **Die Werte für das multiple Bestimmtheitsmaß r^2 sind bei relativ wenigen signifikanten Variablen erstaunlich hoch.** Sie bewegen sich - abgesehen vom C_wn-Modell - zwischen 0,42 und 0,77. Das heißt, daß zwischen 42% und 77% des Erosionsausmaßes anhand der Modelle erklärt werden können. Auch bei Berücksichtigung des Stichprobenumfangs und der Anzahl unabhängiger Variablen (r^2_{KORR}) vermindern sich diese Werte kaum¹⁵². Generell steigen bei den Modellen, in denen W, E und C getrennt betrachtet werden, die r^2 -Werte mit der Berücksichtigung der natürlichen Bedingungen (Modellspezifizierung). Dies ist besonders bei C eklatant. Hier steigt der r^2 -Wert von 0,08 auf 0,42. Durch die Betrachtung einzelner Klimazonen, die statistisch einer Homogenisierung der Stichprobe entspricht, steigt der r^2 -Wert insbesondere bei den Modellen für W, WEC (um etwa 25%) und C (um rd. 15%).
- **Es bestehen deutliche Unterschiede in den Erklärungsmustern für verschiedene Erosionsarten und Klimazonen.** Vor allem die Modelle für Winderosion (E) und für die sehr humide Klimazone (K6) weichen von den übrigen Modellen ab.
- **Die Ergebnisse, die anhand des stufenweisen Vorgehens erzielt werden, werden durch diejenigen des Einschlußverfahrens bestätigt** und z.T. ergänzt. Widersprüchlich ist lediglich, daß beim Modell für Winderosion ohne Berücksichtigung der natürlichen Verhältnisse (E_wn) beim Einschlußverfahren im Gegensatz zum stufenweisen Einschluß keine einzige Variable signifikante Regressionskoeffizienten hat (vgl. Tabelle A-7.2.2 mit Einschluß-Ergebnissen, Anhang 7).

Modelle für die gesamte Bodenerosion

In den Modellen für die gesamte Bodenerosion (WEC_1, WEC_2 und WEC_n) kann für 73 Länder die Varianz des Anteils degradierteter Landesfläche zu maximal 55% erklärt werden durch nur zwei Variablen bzw. Faktorrepräsentanten: FW_LA ($\beta_{\text{WEC}_1} = -0,59$) bzw. AEZ ($\beta_{\text{WEC}_2} = -0,69$) für den Faktor „Historische Entwaldung“ und die Abholzungsrate DEFN ($\beta = 0,19$ bis 0,23) für den Faktor „Rezente Abholzung“. Während DEFN als Repräsentant für den Faktor Abholzung und der Abholzungsfaktor selbst eindeutig sind, ist sowohl bei FW_LA als auch bei der AEZ-ratio zu berücksichtigen, daß

¹⁵² Diese Werte beziehen sich auf das schrittweise Einschlußverfahren. Das korrigierte Bestimmtheitsmaß der relevanten Modelle liegt zwischen 0,41 und 0,74. SOUTHGATE z.B. schreibt in bezug auf seine eigenen Regressionsergebnisse für den Ländervergleich zu Determinanten der Abholzung: "For a cross-sectional study, an adjusted r^2 of 67 percent is very good, particularly since aggregate national-level data for a heterogenous group of countries have been used. Dummy variables....could have been introduced. But to maintain a sharp focus this was not done." (1994, S. 138). Mögliche Gründe dafür, daß das C_wn-Modell einen r^2 -Wert von nur 0,08 hat, werden im folgenden diskutiert.

sie zwar Repräsentanten für einen bestimmten Faktor sind, aber noch mit anderen Faktoren in Zusammenhang stehen. So haben beide Variablen starken Bezug zur Aridität bzw. Humidität eines Landes (Faktor 3), der relative Bevölkerungsdruck *AEZ-ratio* teilweise auch zur „Strukturellen Landknappheit / Intensität der Landnutzung“ (Faktor 1). Was genau ist also neben der rezenten Abholzung für den Anteil degradierten Landes entscheidend? Hier sind nicht nur die Historische Abholzung oder die übergeordnete Flächennutzungsintensität, für die hier sowohl die *AEZ-ratio* als auch *FW_LA* stehen, sondern auch die Aridität (sicherlich auch in Verbindung mit dem Vorkommen von Starkregen) und die *AEZ-ratio* selbst, also der Ende der 80er Jahre noch bestehende Spielraum für die bevölkerungsmäßige Tragfähigkeit eines Landes, in Betracht zu ziehen.

Durch die zusätzliche Berücksichtigung natürlicher Bedingungen verändern sich diese Modelle nicht, was zu erwarten war, weil sehr verschiedene Erosionsformen und Klimate zusammengefaßt betrachtet werden. Ebenfalls wie zu erwarten, spielt keiner der Landnutzungs-Faktoren bei dieser zusammengefaßten Analyse eine Rolle. Von den beiden sozioökonomisch-demographischen Rahmenbedingungen Bevölkerungsdruck und Armut haben dementsprechend ausschließlich der Bevölkerungsdruck und die damit in Zusammenhang stehenden Faktoren Bedeutung für das Ausmaß der Bodendegradation. Demgegenüber ist bei keinem der Faktoren, die Wohlstand/Armut oder deren Wachstum erfassen, auf diesem Aggregationsniveau ein Zusammenhang mit dem Degradationsausmaß nachzuweisen.

Wassererosion

Anhand der Modelle für Wassererosion können bis zu 77% ($r^2_{\text{KORR}}=0,74$) der Varianz des Erosionsindexes erklärt werden. Im Vergleich zur gesamten Erosion sind mehr unabhängige Variablen relevant. Im Modell ohne natürliche Rahmenbedingungen sind - wie bei der gesamten Degradation - Repräsentanten der Faktoren „Historische Entwaldung“ und „Rezente Abholzung“ im Modell enthalten, wobei die rezente Abholzung *DEFN* im Vergleich zur historischen Entwaldung an Bedeutung gewinnt. Darüber hinaus hat der Faktorrepräsentant für die „Strukturelle Landknappheit / Ackerbauliche Ausrichtung und Intensität der Landnutzung“¹⁵³, *AR_PC*, die größte relative Bedeutung. Ebenso kommt dem Faktor „Sophistizierung *versus* Extensivierung“ der Produktion eine gewisse Bedeutung zu - mit negativem Vorzeichen: Je geringer die Sophistizierung der Produktion bzw. je stärker die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Referenzzeitraum, desto höher der Anteil wassererodierter Landesfläche.

Bei Berücksichtigung der natürlichen Bedingungen haben erwartungsgemäß Repräsentanten für die Hangneigung und für die Subhumidität der Anbaufläche in dem Modell für Bodenerosion Bedeutung. Durch diese Modellspezifizierung steigt der Wert des Be-

¹⁵³ Oder auch: Ackerbauliche Ausrichtung der Produktion und Intensität des Ackerbaus.

stimmtheitsmaßes (r^2) um rd. 25%. Die übrigen Faktoren bleiben bis auf die „Sophistizierung der Produktion“ im Modell enthalten. Bei der Interpretation ist abzuwägen, ob die Variable SH hier tatsächlich als Repräsentant des „Subhumiditäts-Faktors“ zu betrachten ist, denn dieser Faktor enthält gleichzeitig Informationen über die Anbaustruktur eines Landes, nämlich über die jeweiligen Anteile mehr und weniger erosiver Anbaukulturen (MWAP3 und MWAP4, vgl. Faktorladungstabelle im rechts ausklappbaren Anhang A-6.6(a)). So könnte diese Variable auch dahingehend gedeutet werden, daß mit einem hohen Anteil eher erosiver Nahrungskulturen an der Anbaufläche auch der Anteil wassererodierter Fläche zunimmt. Dies wird dadurch bestätigt, daß keiner der Regressionskoeffizienten sich wesentlich verändert, wenn die Variable MWAP4 statt SH in die Analyse einbezogen wird.

Wassererosion – mittlere Niederschlagsverhältnisse

Die Verkleinerung und Homogenisierung der Stichprobe durch die Betrachtung der Wassererosion in Ländern mit mittleren Niederschlagsverhältnissen führt dazu, daß auch die Niederschlagsintensität PMM_A als unabhängige Variable in das Modell aufgenommen wird. Dies könnte folgendermaßen erklärt werden: Werden alle Länder, also sowohl mit hohen ariden als auch subhumiden und humiden Flächenanteilen, berücksichtigt, so kommen bzgl. der Aridität zwei gegensätzliche Tendenzen zum Tragen, die sich gegenseitig wieder aufheben. In sehr ariden Ländern kann das klimabedingte Vorkommen extremer Starkregen Wassererosion bedingen, in sehr humiden Ländern ebenfalls. Werden jedoch ausschließlich die Länder ohne extreme Klimate einbezogen, so wird die ureigenste Bedeutung der Niederschlagsintensität für Wassererosion deutlicher. Die historische Entwaldung, hier repräsentiert von der *AEZ-ratio*, sowie die rezente Abholzung haben das relativ größte Gewicht. Für den Faktor „Strukturelle Landknappheit“ ist hier kein Repräsentant mehr im Modell enthalten. Dies kann eventuell dadurch erklärt werden, daß es sich - eben durch die klimatische Homogenisierung der Stichprobe - ohnehin eher um Länder mit strukturell ackerbaulicher Ausrichtung und intensivem Ackerbau handelt, die dieser Faktor kennzeichnet.

Gesamte Bodenerosion – mittlere Klimazone

Die Modelle, in denen die gesamte Degradation für die Klimazone 4 betrachtet wird, werden als nächste besprochen, weil sie eine ähnliche Erklärungsstruktur wie die WEC-Modelle und die Modelle für Wassererosion aufweisen. Sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung der natürlichen Bedingungen sind hier die Faktoren „Historische Entwaldung“ und „Strukturelle Landknappheit / Ackerbauliche Ausrichtung und Intensität der Landnutzung“ am wichtigsten. Daß die natürlichen Bedingungen bedeutungslos sind, mag wiederum daran liegen, daß drei verschiedene Erosionstypen zusammengefaßt betrachtet werden. Auffällig ist, daß bei Hereinnahme der *AEZ-ratio* als Vertreterin des Faktors „Historische Entwaldung“ die „Strukturelle Landknappheit“ nicht mehr im Modell berücksichtigt ist. Das ist mit dem Vorliegen von Kollinearitäten zu erklären - der

Einfachkorrelationskoeffizient zwischen der *AEZ-ratio* und *ARPC_AA* beträgt in dieser Stichprobe 0,72, ebenso drückt die Faktorladung der *AEZ-ratio* auf den Faktor „Strukturelle Landknappheit“ in Höhe von 0,36 den entfernten Zusammenhang aus. Man könnte deuten, daß die *AEZ-ratio* gewissermaßen die Bedeutung der beiden Faktoren in diesem Modell vereint ausdrückt. Unerwartet ist, daß die rezente Abholzung in dieser Klimazone keine maßgebliche Rolle für das Ausmaß der erodierten Fläche spielt. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, daß die rezente Abholzung zwar auch insgesamt, aber vornehmlich für das Vorkommen von Wassererosion, und vor allem in Ländern mit sehr hohem Anteil humider Klimate, ein großes Problem ist - ersteres wird durch die aus Tabelle 7-2 ersichtlichen Ergebnisse für Winderosion und C im Grundsatz bestätigt.

Gesamte Bodenerosion – humide Klimazone

Bei der Interpretation des Modells für die 13 Länder mit sehr hohem Anteil humider Klimazonen muß die geringe Stichprobengröße beachtet werden, die allgemein zu einer verhältnismäßig hohen Varianzerklärung führt. So kann die Bodenerosion hier zu fast 70% ($r^2_{\text{KORR}} = 0,69$) durch die rezenten Abholzungsraten und durch die Höhe der durchschnittlichen Hektarerlöse, *VAPHA*, erklärt werden. Daß die Abholzung hier eindeutig im Vordergrund steht, entspricht den Erwartungen, aber die Bedeutung der Variable *VAPHA* mit negativem Vorzeichen ist schwer interpretierbar. Um diese Variablenkombination etwas aufzuschlüsseln, werden zusätzlich getrennte Regressionsmodelle für Wassererosion und für C in den betreffenden Ländern geschätzt. So wird deutlich, daß für Wassererosion ausschließlich die rezente Abholzung Bedeutung hat: Allein mit Hilfe von *DEFN* kann ein r^2_{KORR} von 0,54 erreicht werden, *VAPHA* ist für das Modell unwichtig. Die Variable *VAPHA* kann zwar C in gewissem Maße erklären, bei Einbeziehung von *FW_LA*, der Variablen, die für diese Degradationsform in allen Ländern am wichtigsten ist, sinkt die Bedeutung von *VAPHA* aber erheblich. Anhand von *FW_LA* können 73% der Varianzen von *C_{K6}* erklärt werden. In der sehr humiden Klimazone ist also die rezente Abholzung für das Ausmaß der Wassererosion entscheidend, der Verlust von Nährstoffen und organischer Substanz kann weitgehend mit der „Historischen Entwaldung“ bzw. mit der übergeordneten Flächennutzungsintensität erklärt werden. Die sehr geringe Fallzahl mindert aber insgesamt die Aussagekraft dieses Modells.

Verlust von Nährstoffen und organischer Substanz (C)

Wie bereits erwähnt, ist bei ausschließlicher Analyse des Erosionstyps C der Waldanteil eines Landes von Bedeutung. Werden alle Länder, in denen dieser Erosionstyp vorkommt, in die Analyse einbezogen und die natürlichen Bedingungen als unabhängige Variablen zugelassen, so ist die Humidität des Landes ausschlaggebend für das Ausmaß von C. Bis zu diesem Punkt ist das Erklärungsmuster gut deutbar. Schwer interpretierbar ist indes die Bedeutung der Variablen *WAHK12*, die das Wachstum der mit wenig erodierten und meist Dauerkulturen bebauten Fläche wiedergibt und somit für ebendiesen Faktor steht: Je geringer das Wachstum dieser Fläche nach dem Modell, desto größer der

Flächenanteil eines Landes, der von Nährstoffverlusten und dem Verlust organischer Substanz betroffen ist. Obwohl sich hier eine grundsätzliche Sinnhaftigkeit feststellen läßt, weil es sich um die eher bodenschonenden Kulturen handelt, ist die relative Bedeutung der Variablen im Modell unerwartet hoch. Auch ein Blick auf die Faktorladungen, die WAHK12 bei anderen Faktoren aufweist, hilft wenig weiter, da diese ausnahmslos niedrig sind. Am ehesten steht die Variable noch mit den mittleren Getreideerträgen (MWYCG und MWYCE) in Zusammenhang. Die versuchsweise Substitution der Variablen im Modell durch andere, die ähnlich hohe Korrelationen mit C haben, z.B. WAHK4 oder MWAP12, bringt keine zusätzliche Erklärung, so daß der Stellenwert dieser Variablen hingenommen werden muß.

Winderosion

Bei den drei Modellen, in denen nur der Anteil winderodierter Fläche (E) der 38 Länder, die von Winderosion betroffen sind, betrachtet wird, fällt zunächst auf, daß die natürlichen Faktoren Aridität und Hangneigung die größte Bedeutung haben: Je größer der Anteil arider Flächen und von Flächen mit geringer Hangneigung in einem Land, desto größer ist der Anteil winderodierter Fläche. Allein mit diesen beiden Variablen lassen sich r^2 -Werte von 0,47 ($r^2_{\text{KORR}} = 0,44$) erreichen. Der relativ hohe Regressionskoeffizient, den der Waldanteil FW_LA im Modell ohne natürliche Faktoren hat, ist hier unzweifelhaft auf den Klimafaktor F3 zurückzuführen, auf den FW_LA läßt, zumal die Variable bei Zulassung einer Klimavariablen im Modell extrem an Bedeutung verliert. Ähnlich könnte der Stellenwert der Variablen WYCG im Modell ohne natürliche Faktoren gedeutet werden, auch weil signifikante Korrelationen zwischen dem Anteil arider Flächen und auch anderen Ariditätsindikatoren einerseits und dem Ertragswachstum WYCG andererseits bestehen (z.B. $r_{\text{WYCG, AHDSA}} = -0,44$, $p = 0,006$) – allerdings ist faktorenanalytisch kein struktureller Zusammenhang zwischen den Variablen zu erkennen. Auch im Modell mit natürlichen Faktoren behält die Variable einen recht hohen Regressionskoeffizienten von $-0,19$, der aber nur für $\alpha = 0,13$ signifikant ist.

Schwierig zu deuten ist die Variable WFER_AP, die die Zunahme der Düngemittelintensität im Referenzzeitraum wiedergibt. Sie wird bei Betrachtung der zwölf sehr ariden Länder beim schrittweisen Modellwahlverfahren sogar als einzige Variable in das Modell aufgenommen – was angesichts der sehr geringen Stichprobengröße und der damit verbundenen geringen Aussagekraft des Modells in keinem Fall überbewertet werden sollte. Es ist zwar wenig erstaunlich, daß hier die natürlichen Faktoren wegfallen, weil die Stichprobe ja anhand dieser homogenisiert wurde. Dennoch ist die Zunahme der Düngemittelintensität gerade in Ländern, in denen im GLASOD der Überweidung der Hauptanteil an der Bodendegradation zugeschrieben wird, als Erklärung für einen hohen Anteil winderodierter Fläche nicht besonders überzeugend. Mit dem Faktor, den diese Variable repräsentiert, steht noch ein geringer mittlerer Anteil von Dauerkulturen, MWAP12, in Verbindung, aber die Korrelation dieser Variablen mit der Winderosion

ist sehr niedrig. Schließlich kann wiederum nur auf eine vorhandene Korrelation zwischen der Zunahme der Düngemittelintensität und der Aridität verwiesen werden ($r_{\text{WFER_AP, AHDSA}} = 0,31$, $p = 0,06$).

Insgesamt sind zweifellos die Modelle für Wassererosion unter Einbeziehung der natürlichen Faktoren am besten interpretierbar und am interessantesten, insbesondere die Modelle für die Klimazonen 4 (W_{K4}) und 6 (W_{K6})¹⁵⁴. Die Modelle für Winderosion und für C ohne Berücksichtigung der natürlichen Bedingungen sind eher unbefriedigend. Als Gründe dafür, daß die Erklärungsmuster für Wassererosion so viel plausibler und - im Sinne höherer Bestimmtheitsmaße - besser als diejenigen für Wind- und C-Erosion sind, kommen in Frage:

- Die von Wind- und C-Erosion betroffenen Landesteile sind meist kleiner als die von Wassererosion betroffenen Flächen. Daher kann es auf nationalem Aggregationsniveau eher zur geographischen Entkopplung von Ursache-Wirkungs-Ketten kommen als bei der Wassererosion.
- Die Anzahl der Länder, in denen Wind- und C-Erosion überhaupt vorkommen, ist geringer als bei Wassererosion, so daß gerade bei der Betrachtung klimatisch homogener Ländergruppen mit sehr kleinen Stichproben gearbeitet werden muß.

¹⁵⁴ Dieses Modell ist nicht gesondert in der Abbildung 7-2 aufgeführt, es wurde im Zusammenhang mit dem K6-Modell vorgestellt.

7.3 Prüfung der Prämissen der Regressionsanalyse

Multikollinearität

Aus Abbildung 7-1 gehen die Korrelationskoeffizienten für die in den vorgestellten Modellen nach dem schrittweisen Verfahren eingeschlossenen Variablen hervor. Korrelationskoeffizienten mit absoluten Werten $> 0,3$ kommen ausschließlich in den Modellen vor, in denen natürliche und anthropogene Variablen enthalten sind, und nur zwischen natürlichen und anthropogenen Faktoren. Das bedeutet, (1) daß die anthropogenen Faktoren, insbesondere die Variablen für die Faktoren „Historische Entwaldung“ und „Rezente Abholzung“, untereinander nicht korreliert sind und (2) daß einige der anthropogenen Faktoren nicht vollständig unabhängig von den natürlichen Rahmenbedingungen sind. Letzteres ist darauf zurückzuführen, daß die landnutzerischen Aktivitäten von Menschen nicht in einem Vakuum, sondern in einem agrarökologischen Rahmen stattfinden, der diese Aktivitäten mitbestimmt. Da der höchste dieser Korrelationskoeffizienten 0,5 beträgt, brauchen keine Variablen aus den Modellen entfernt oder ersetzt zu werden.

Abbildung 7-1: Korrelationskoeffizienten der exogenen Variablen der berechneten Regressionsmodelle¹⁾

Modelle mit 73 Ländern:

WEC_1, WEC_2, WEC_n, W_wn, W_n

	DEFN	AA	LA	AR	A	S3
FW L	-0,09 0,47					
AEZ	-0,14 0,23					
AA LA	0,21 0,07					
AR A	0,21 0,07	-0,10 0,43				
S3	0,31 0,01	0,13 0,26		0,48 0,00		
SH	0,26 0,03	0,15 0,20		0,29 0,01	0,2 0,05	
WAAA	0,05 0,21	0,03 0,79		-0,21 0,08		

C_n

	H	AA	LA
AA LA	-0,16 0,25		
WAHK12	0,31 0,03	-0,10 0,49	

Modelle mit 26 Ländern:

K4_1, K4_2 und W_K4

	AEZ	DEFN	AA	L	FW	LA
PMM A	0,50 0,01	-0,15 0,47				
DEFN	-0,28 0,17					
ARPC AA			0,07 0,72		-0,29 0,15	

Modelle mit 38 Ländern: E_n und E_wn

	WYCG	WFER	AP	S2	3
FW LA	0,13 0,43				
S2 3		0,05 0,75			
H		-0,16 0,35		0,40 0,01	

C_K4

	FW	LA
WAHK12	-0,05 0,83	

K6

	VAPHA
DEF	0,26 0,39

¹⁾ Modelle mit nur einer exogenen Variablen sind nicht aufgeführt. Unter jedem Korrelationskoeffizient steht die jeweilige Irrtumswahrscheinlichkeit p (kleingedruckt).

Quelle: eigene Berechnungen

Homogenität der exogenen Variablen

Wie aus Tabelle 7-3 hervorgeht, zeigen die Werte des *Kolmogorow*-Tests (K-S: 2-tailed-p-Werte), daß bis auf eine der exogenen Variablen alle so verteilt sind, daß kein Widerspruch zur Annahme der Normalverteilung besteht. Die Ausnahme stellt die Variable WAHK12 in den Modellen C_n und C_{K4} dar, was mit ein Grund für die ohnehin schwierige Deutung dieser Variablen in beiden Modellen sein dürfte. In Tabelle 7-3 sind die K-S-Werte für Variablen, die in mehreren Modellen mit gleicher Länderzahl vorkommen, nicht doppelt aufgeführt. DEFN beispielsweise ist hier unter WEC₁ aufgelistet, kommt aber – mit gleicher Verteilung – auch in den Modellen WEC₂, WEC_n, W_{wn} und W_n vor.

Tabelle 7-3: Verteilung der in den relevanten Regressionsmodellen enthaltenen unabhängigen Variablen - Testwerte¹⁾

Modell	Variable	K-S ¹⁾	Modell	Variable	K-S ¹⁾	Modell	Variable	K-S ¹⁾
WEC ₁	FW_LA	0,74	E_wn	FW_LA	0,61	K4_1	AA_LA	0,85
	DEFN	0,71		WYCG	0,26		ARPC_AA	0,63
WEC _{2/}	AEZ	0,52	E _n	H	0,30	K4_2	FW_LA	0,94
WEC _n				S2_3	0,99	K4_3	AEZ	0,99
W_wn	AA_LA	0,77		WFER_AP	0,94			
	AR_AA	0,51	E _{K12}	WFER_AP	0,97	K6	DEFN	0,99
	WAAA	0,85					VAPHA	0,93
W _n	S3	0,71	C_wn	WAHK12	0,02			
	SH	0,47	C _n	H	0,14			
W _{K4}	PMM_A	0,98		AA_LA	0,79			
	AEZ	0,99	C _{K4}	FW_LA	0,94			
	DEFN	0,87		WAHK12	0,03			

¹⁾ 2-tailed-p-Werte des Kolmogorow-Smirnow-Tests (KS): Werte < 0,05 indizieren, daß die Annahme der Normalverteilung abgelehnt werden muß.

Quelle: eigene Berechnungen

Residualanalyse

Die Residuen der 16 Modelle werden daraufhin untersucht, ob (a) ihre Verteilung im Widerspruch zur Annahme der Normalverteilung steht und der erwartete Wert im Mittel Null ist und ob (b) ihre Varianz annähernd konstant ist. In Tabelle 7-4 sind für die Residuen der 16 Modelle wiederum die 2-tailed-p-Werte des *Kolmogorow*-Tests angegeben. Da die Modelle WEC₂ und WEC_n gleich sind, werden sie hier zusammengefaßt. Keiner der Werte läßt darauf schließen, daß die Verteilung im Widerspruch zur Annahme der Normalverteilung steht.

Zu beachten ist allerdings, daß die Fallzahlen der Modelle E_{K12} (12), $K6$ (13) und C_{K4} (22) so niedrig sind, daß die Werte des *Kolmogorow*-Tests möglicherweise wenig aussagekräftig sind. Weiterhin wird die Varianz der Residuen anhand von Scatterplots mit den unabhängigen Variablen des jeweiligen Modells sowie mit den geschätzten Werten der abhängigen Variablen untersucht (vgl. Abbildung A-7.3, Anhang 7). Die Scatterplots zeigen, daß bei keinem der Modelle von systematischen Fehlern ausgegangen werden muß.

Tabelle 7-4: Verteilung der Residuen - Testwerte¹⁾

Modell	K-S_{res}¹⁾	Modell	K-S_{res}¹⁾
WEC_1	0,87	C_wn	0,71
WEC_2/_n	0,80	C_n	0,50
W_wn	0,67	C _{K4}	0,98
W_n	0,49	K4_1	0,93
W _{K4}	0,56	K4_2	0,92
E_wn	0,55	K4_3	0,99
E_n	0,51	K6	0,92
E _{K12}	0,99		

¹⁾ 2-tailed-p-Werte des Kolmogorow-Smirnow-Tests (KS): Werte < 0,05 indizieren, daß die Annahme der Normalverteilung abgelehnt werden muß.

Quelle: eigene Berechnungen

7.4 Ergänzende Analysen: Agrarpreisentwicklung und Armut

Im Vordergrund der ergänzenden Analyse steht die Variable DGWP, die den Preisanstieg der wichtigsten in einem Land erzeugten Agrarprodukte im Referenzzeitraum quantifiziert. Sie weist relativ hohe negative Korrelationskoeffizienten mit einzelnen Erosionsindizes auf, und ihre Untersuchung ist insbesondere deshalb von Interesse, weil sie sich als einzige auf das preisliche und damit auch preispolitische Umfeld der Produzenten bezieht. Zudem werden mögliche Kausalzusammenhänge zwischen Agrarpreisentwicklung, Preiserwartungen und Zeitpräferenz der Landnutzer auf der einen Seite und Bodenerosion auf der anderen Seite in der Literatur bisher ausschließlich theoretisch behandelt (vgl. Kapitel 3).

Weiterhin wird - ausgehend von den Ergebnissen der Korrelationsanalysen für die Klimazone „4“ - nochmals der möglichen Bedeutung von Armut als Erosionsdeterminante nachgegangen. Untersucht werden soll der relative Einfluß von zwei Variablen: RP_AREA, die die von Armen bewirtschaftete Fläche zu Anfang der 80er Jahre annähernd quantifiziert, und FVP, die den Anteil der Bevölkerung bemißt, der *functionally*

vulnerable, also ökonomisch labil ist. Für diese Variablen sind in der zu untersuchenden Klimazone ausreichend Länderdaten vorhanden und sie werden als „gute“ Armutsindikatoren eingeschätzt (vgl. Kriterien der Variablenauswahl, Abschnitt 4.2.2). Außerdem bestätigen die Korrelationsergebnisse - ausschließlich in dieser Klimagruppe - zumindest teilweise die Annahmen der Literatur über den Zusammenhang Armut und Bodendegradation. Eine Untersuchung für andere Größen mit relativ hohen Korrelationskoeffizienten, vor allem aus dem sozioökonomischen Bereich - z.B. für die Anzahl der Landlosen oder die Einkommensverteilung -, scheitert schlichtweg an den zu geringen Fallzahlen.

Um zunächst einzuordnen, mit welchen anderen unabhängigen Variablen die drei Variablen DGWP, FVP und RP_AREA zusammenhängen, wird jeweils eine in der Fallzahl entsprechend der Datenlage reduzierte Faktorenanalyse durchgeführt. Die Variablen werden dann in jedes der Regressionsmodelle, die nach der schrittweisen Einschlußmethode im vorigen Abschnitt als „beste“ (= *most parsimonious*) bestimmt wurden, zusätzlich zu den in dem jeweiligen Modell enthaltenen Variablen integriert. So kann die relative Bedeutung der drei Variablen für Bodenerosion geschätzt werden.

Für die Variablen RP_AREA und FVP ist die Interpretation der rotierten Faktorladungsmatrix eindeutig: Beide Variablen ordnen sich - auch unabhängig voneinander - in den Faktor „Armut“ ein, der in Abschnitt 6.3 ausführlich beschrieben wurde (vgl. Tabelle A-7.4.1 und A-7.4.2, Anhang 7). Ihre Berücksichtigung in den Regressionsmodellen für die verschiedenen Ländergruppen zeigt, daß auch anhand dieser Armutsindikatoren eine Bedeutung von Armut für das Vorkommen von Bodenerosion auf dem nationalen Aggregationsniveau nicht nachgewiesen werden kann.

Entsprechend den Daten für DGWP umfaßt die Faktorenanalyse mit dieser Variable 56 Länder. DGWP lädt am höchsten auf den Abholzungsfaktor „Rezente Abholzung“ (FL = -0,60). Die negative Faktorladung bedeutet, daß geringe durchschnittliche Preiszuwächse für landwirtschaftliche Produkte im Referenzzeitraum mit hohen Abholzungsraten einhergehen (vgl. Tabelle 7-5 und Tabelle A-7.4.3, Anhang 7)¹⁵⁵.

Die Faktorladungen der Variable DGWP mit den anderen Faktoren zeigen, daß DGWP - wie im übrigen zu erwarten - bzgl. dieser anderen Faktoren eher den Charakter einer „Querschnittsvariablen“ hat: Ähnlich wie z.B. die *AEZ-ratio* korreliert sie auch mit anderen Variablen bzw. Faktoren. Geringe Ladungen treten auf bei den Faktoren „Strukturelle Landknappheit / Ackerbauliche Ausrichtung und Intensität der Landnutzung“, „Agroklimatische Bedingungen“, und „Historische Entwaldung“. Entsprechend den Vor-

¹⁵⁵ Da bei dieser Faktorenanalyse die Anzahl der Variablen (63) die Anzahl der Länder übersteigt, wurde zusätzlich eine in der Anzahl der Ausgangsvariablen reduzierte Variante berechnet (44), in der DGWP in sehr ähnlicher Weise den in der Tabelle aufgelisteten Faktoren zugeordnet ist.

zeichen der Faktorladungen läßt sich vorsichtig deuten, daß der Preisanstieg in humiden und subhumiden Ländern mit einer eher großen landwirtschaftlichen Nutzfläche (Anteil an der Landesfläche), hoher Bevölkerungsdichte und intensiver ackerbaulicher Ausrichtung tendenziell relativ gering ist. Wenn man das Bild, das sich insgesamt ergibt, kausal deutet, läßt sich vermuten, daß der Extensivierungsdruck (z.B. DEFN) und z.T. auch der Intensivierungsdruck, vor allem im Sinne kürzerer Brachezeiten (z.B. CI), in den vergangenen Jahrzehnten verstärkt wurden durch geringe Preiszuwächse – oder sogar Preisrückgänge – bei den für ein Land relevanten Agrarprodukten.

Tabelle 7-5: Ergebnisse der Faktorenanalyse unter Einbeziehung der Variablen DGWP - Faktormuster der relevanten Faktoren¹⁾

„Rezente Abholzung“		„Strukturelle Landknappheit / Anbauintensität“		„Agroklimatische Bedingungen“		„Historische Entwaldung“		„Zunahme Cassavafläche“	
VARIABLE	FL ¹⁾	VARIABLE	FL ¹⁾	VARIABLE	FL ¹⁾	VARIABLE	FL ¹⁾	VARIABLE	FL ¹⁾
DEFN	0,85	PDA	0,92	H	0,79	AA_LA	-0,90	WAHK5	0,86
DEF_ARE	0,65	AR_AA	0,90	FW_LA	0,77	OL_LA	0,42	...	
DGWP	-0,60	ARPC_AA	0,90	PMM_A	0,77	FW_LA	0,42	DGWP	0,23
WAHK4	0,51	VAPHA	0,85	AHDSA_LN	-0,77	...			
		MWBPP	0,76	D1	-0,70	DGWP	0,23		
		CI	0,76	OL_LA	-0,68				
		MWTP_LA	0,75	D4	0,61				
		FERT_AA	0,67	AEZR	0,60				
		MWAAA	0,62	PCP_T	-0,53				
		MWBAA	0,55	MWAP5	0,51				
		PCP_T	0,54	...					
		...		DGWP	-0,25				
		DGWP	-0,29						

¹⁾ Alle Faktoren, auf die DGWP absolut mit $\geq 0,2$ lädt. Aufgelistet sind Variablen mit absoluten Faktorladungen $> 0,5$. FL: Faktorladung

Quelle: eigene Berechnungen

Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen für verschiedene Klimazonen bestätigen diese Vermutung - obgleich sie keine Kausalzusammenhänge wiedergeben (Tabelle 7-6). Am stärksten scheint der Zusammenhang zwischen Preisverfall für die relevanten Agrarprodukte und hohen Abholzungsraten in Ländern mit sehr hohem Anteil arider oder humider Flächen zu sein (Klimate „12“ und „6“). Nimmt man diese Ländergruppen zusammen (Klimate „126“ in Tabelle 7-5), so steigt der Korrelationskoeffizient auf $-0,82$ (vgl. auch

Abbildung 7-2)¹⁵⁶. Hingegen steht DGWP in der mittleren und humiden Klimazone mit einer hohen Landnutzungsintensität in Zusammenhang.

Tabelle 7-6: Korrelationskoeffizienten zwischen der langfristigen Preisentwicklung (DGWP) und der rezenten Abholzung (DEFN) sowie der Anbauintensität (CI) nach Klimazonen¹⁾

Klimazone	n	DEFN'	CI
Alle Länder	56	-0,46***	-0,30**
Klimate „123“ ²⁾	17	-0,67***	-
Klima „4“	19	-0,50**	-0,53**
Klimate „456“ ³⁾	39	-0,36**	-0,53***
Klima „6“	12	-0,63**	-0,61**
Klimate „126“ ⁴⁾	20	-0,82***	-

1)....** : $p \leq 0,01$

.....*** : $p \leq 0,001$

.....- : sehr geringe Korrelationskoeffizienten

.....DEFN' = $\ln(\text{DEFN})$

2)....Länder mit extrem aridem („1“ und „2“) sowie feucht-aridem Klima („3“)

3)....Länder der mittleren („4“) und humiden Klimazone („6“) und Länder mit gemischten Klimazonen („5“)

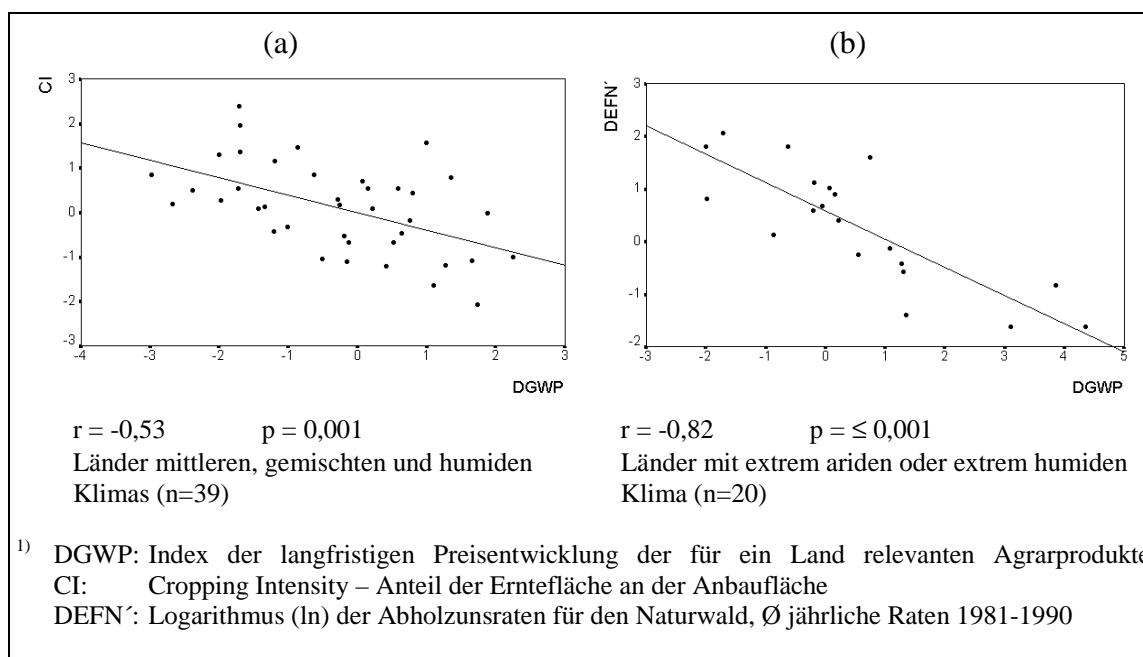
4)....Länder mit extremen Klimaten: extrem arid („12“) und extrem humid („6“)

Quelle: eigene Berechnungen

Allein schon diese Ergebnisse der Faktorenanalyse, vor allem die Korrelation der rezenten Abholzungsraten und der Preisentwicklung, lassen im Rahmen des gewählten methodischen Vorgehens die Vermutung zu, daß sinkende Preise mit Bodenerosion in kausalem Zusammenhang stehen: Der Faktor „Rezente Abholzung in Zusammenhang mit sinkenden Agrarpreisen“, repräsentiert durch die Variable DEFN, trägt in den wichtigsten der bereits berechneten Regressionsmodelle entscheidend zur Erklärung der Erosionsvariablen bei.

¹⁵⁶ In einer Regressionsschätzung mit DEFN als abhängiger Variablen und DGWP als einziger unabhängiger Variablen beträgt das Bestimmtheitsmaß r^2 0,67 bzw. r^2_{KORR} 0,65, $\beta = -0,82$, $t = -6,0$, $p_t < 0,001$; $F = 36,3$, $p_F < 0,001$. Für alle 56 Länder: r^2 0,21 bzw. r^2_{KORR} 0,19, $\beta = -0,46$, $t = -3,8$, $p_t < 0,001$; $F = 14,2$, $p_F < 0,001$. Für CI als abhängige Variable und DGWP als unabhängige Variable in den Klimazonen „456“: r^2 0,28 bzw. r^2_{KORR} 0,26, $\beta = -0,53$, $t = -3,8$, $p_t < 0,001$; $F = 14,2$, $p_F < 0,001$.

Abbildung 7-2: Zusammenhänge zwischen der langfristigen Preisentwicklung DGWP, der Anbauintensität CI (a) und der rezenten Abholzung DEFN (b) – Scatterplots ¹⁾



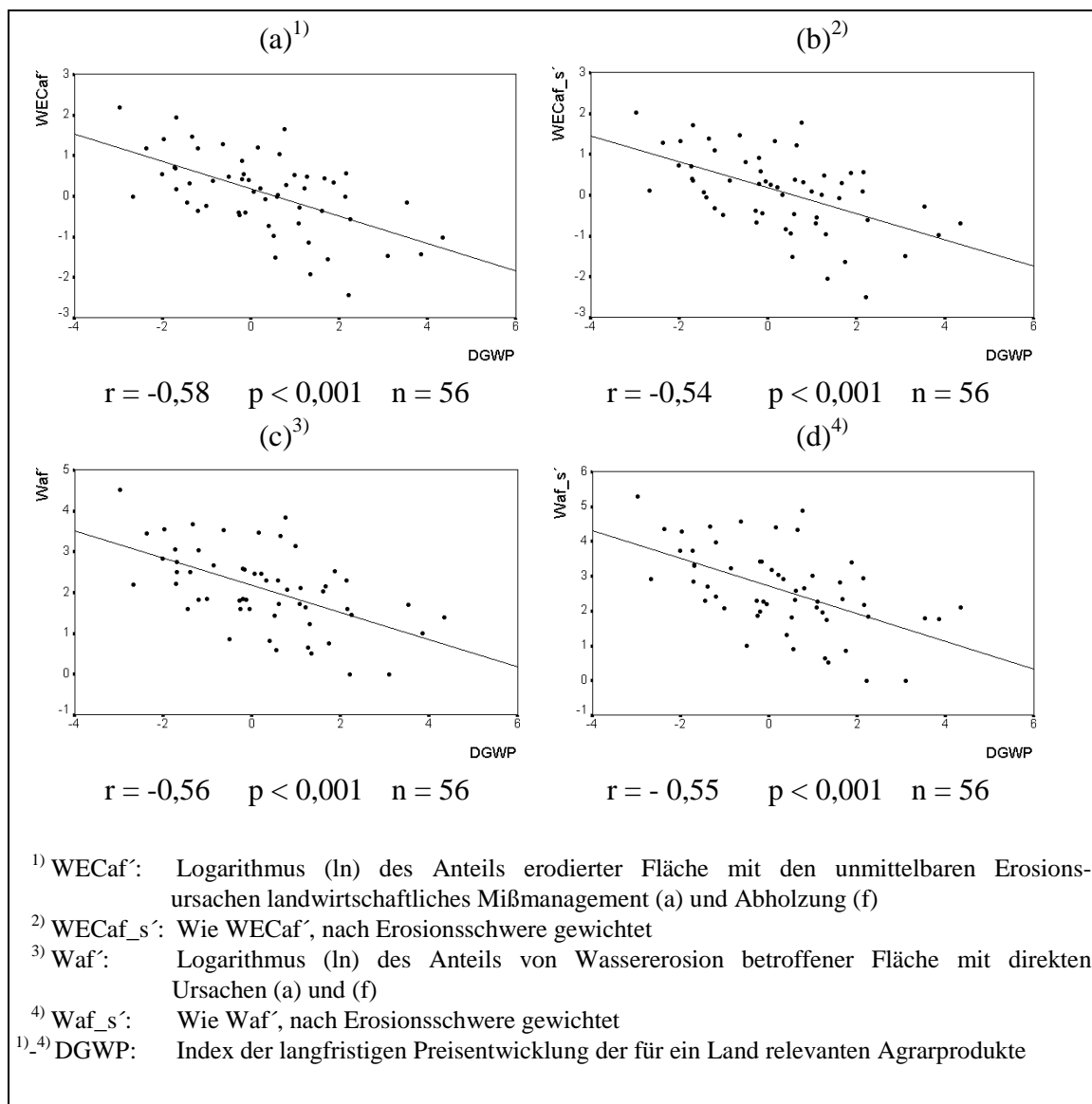
Quelle: eigene Berechnungen

Darüber hinaus bestätigt auch die regressionsanalytische Untersuchung, daß der Variablen DGWP insgesamt und für die verschiedenen Klimazonen relativ große Bedeutung zukommt. Die Ergebnisse dieser Schätzungen gehen für das schrittweise Einschlußverfahren aus Tabelle A-7.4.4 des Anhangs 7 hervor. Zu bemerken ist vor allem:

- In den Modellen, in denen die rezente Abholzung (DEFN) bisher maßgeblich ist, führt die Einführung von DGWP wegen der genannten Korrelationen einerseits dazu, daß sich die Regressionskoeffizienten und somit der Erklärungsanteil von DEFN im Einschlußmodell aufteilen auf die beiden Variablen DEFN und DGWP. Diese Modelle bergen aus Gründen der Multikollinearität Schätzfehler. Beim schrittweisen Vorgehen kommt es – ebenfalls aus den genannten Gründen – andererseits teilweise dazu, daß DEFN aus dem besten Modell zugunsten von DGWP verdrängt wird, insbesondere bei den Modellen für Wassererosion.
- In der Klimazone „4“, wo die rezente Abholzung in Form von DEFN bisher nicht in den Modellen enthalten war, wird DGWP neben der *AEZ-ratio* und der „Strukturellen Landknappheit“ zum entscheidenden Faktor. Entsprechend dem Korrelationskoeffizienten zwischen DGWP und CI kann hier vermutet werden, daß der Produktpreisverfall in dieser Ländergruppe nicht sosehr die Abholzungsraten, sondern vor allem die Flächenintensität der Landbewirtschaftung im Sinne verkürzter Brachezeiten oder der Inkulturnahme fragiler Flächen beeinflusst hat.

Insgesamt ist also davon auszugehen, daß das Ausmaß, in dem die Agrar-Produzentenpreise in einem Land in den vergangenen Jahrzehnten gestiegen bzw. gesunken sind, Einfluß auf das Verhalten von Land- und Waldnutzern *in puncto* Bodenerosion hatte. Daß dieses Verhalten vor allem in erosiven landnutzerischen Praktiken und in der verstärkten Abholzung von Wäldern bestand, wird auf andere Weise auch durch folgende *Scatterplots* illustriert (Abbildung 7-3): Hier ist die abhängige Variable WEC_{af} , d.h. der Anteil eines Landes, der nach aggregierter Einschätzung der GLASOD-Länderexperten für die einzelnen *mapping units* durch ackerbauliches Mißmanagement („a“) und Abholzung („f“) erodiert ist, in Zusammenhang mit DGWP abgebildet.

Abbildung 7-3: Zusammenhänge zwischen der langfristigen Preisentwicklung DGWP und Bodenerosion durch Abholzung und ackerbauliches Mißmanagement – Scatterplots



Quelle: eigene Berechnungen

Drei abschließende Bemerkungen zu diesem wesentlichen Ergebnis bezüglich des Zusammenhangs zwischen Preisentwicklung, Landnutzung und Bodenerosion seien angefügt:

- Es darf nicht aus den Augen verloren werden, daß es sich - wie im übrigen bei allen anderen Variablen auch - um eine Querschnittsanalyse, nicht um eine Zeitreihenanalyse handelt. Für Folgerungen wie: „Die langfristige Anhebung des Produzentenpreisniveaus in einem Land kann dazu beitragen, daß die Landnutzer den Boden schonender bewirtschaften und daß die Bodenerosion weniger zunimmt“ besteht nur eine begrenzte Grundlage.
- Es besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen DGWP und den Variablen, die allgemein zur Messung der Extensivierung und Intensivierung der Landnutzung herangezogen werden, wie z.B. die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche (WAA_LA, WARPC_AA, WARE) bzw. die Abholzung gemessen als Anteil an der Landesfläche, die Zunahme der Düngemittelintensität (WFW_LA, DEFAREA, WFER_AA etc.) - auch nicht zwischen diesen Größen und Bodenerosion. Dies mag zum einen daran liegen, daß die entsprechenden Datensätze eine eher schlechte Qualität haben und/oder nicht geeignet sind zur Berechnung von Wachstumsraten, wie schon in Abschnitt 4.2 erwähnt. Es zeigt aber zum anderen auch, daß nicht das Wachstum der landwirtschaftlichen Nutzfläche bzw. die Abnahme des Waldes an sich als Bindeglied zwischen Preisniveau und Bodenerosion von Bedeutung sind, sondern letztlich die agrarökologischen Korrelate dieser Größen, wie etwa der Anteil des Waldes, der abgeholzt wurde (DEFN), oder der Grad, zu dem die Fläche als agrarökologischer Input genutzt wird (CI).
- Im Zusammenhang mit der Bedeutung, die die langfristige Preisentwicklung und damit die Preiserwartungen der landwirtschaftlichen Produzenten für Landnutzung und Bodenerosion haben, stellt sich die Frage, warum die Variable *value added per hectare* (VAPHA) bzw. deren Wachstum WVAPHA keine Bedeutung haben. Orientieren sich Landnutzer eher an den Preisen als an dem, was sie tatsächlich an Erlös bzw. Gewinn realisieren können? Eine plausible Erklärung ist, daß die langfristige Preisentwicklung DGWP die langfristigen Preiserwartungen der kommerziellen Produzenten eines Landes relativ gleichmäßig bestimmt. Preisunterschiede innerhalb eines Landes ergeben sich im wesentlichen durch unterschiedliche Transport- und Vermarktungskosten¹⁵⁷. Hingegen sind VAPHA und WVAPHA sehr aggregierte Durchschnittswerte, deren Höhe zwischen den Produzenten stärker variieren dürfte als die Höhe von DGWP. Die Hektarerträge und damit auch die Hektarerlöse und ihre Zunahme über die Jahre sind bekanntermaßen stark abhängig von der Produktivität des

¹⁵⁷ Sicherlich können diese beträchtlich sein, was aber nicht Gegenstand der Untersuchung ist.

bewirtschafteten Landes, von den Produktionsmethoden, Produktionsfaktorpreisen, wetterbedingten Ernteschwankungen, dem *know how* der Landnutzer etc. Deswegen ist es nachvollziehbar, daß diese Durchschnittswerte nicht unbedingt wiedergeben, ob die Masse der kommerziellen Produzenten eher steigende oder sinkende Einkommen erwartet. Die Preisentwicklung hingegen gibt den „reinen“ Einfluß der Preise auf die Erlöserwartungen der Produzenten, unabhängig von den ertragsrelevanten Größen, wieder.

7.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

- Anhand der Regressionsmodelle können auf dem aggregierten Länderniveau anthropogene sowie natürliche Determinanten für das Ausmaß der Bodenerosion gefunden und ihre relative Bedeutung bestimmt werden. Dabei sind die Werte des Bestimmtheitsmaßes in fast allen Modellen als hoch einzustufen.
- Es lassen sich drei anthropogene Rahmenbedingungen bzw. Entwicklungen identifizieren, die besonders wichtig für Bodenerosion in Entwicklungsländern sind:

(1) **Die langfristige, historische Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche** auf Kosten des Waldbestandes in Zusammenhang mit einem Gesamtbevölkerungsdruck, der gegen Ende der 80er Jahre die Tragfähigkeit der jeweiligen agrarökologischen Zone überschreitet.

(2) **Die rezente Abholzung von Naturwald**, die in Zusammenhang mit dem Wachstum der gesamten und der ländlichen Bevölkerung zu sehen ist. Hier scheinen weniger der Druck der landwirtschaftlichen Bevölkerung und die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche, also die Produktionsseite, im Vordergrund zu stehen, als vielmehr der Druck der Nachfrageseite.

(3) **Die langfristige Intensivierung der Agrarproduktion**, vor allem im Sinne der Nutzungsintensität (Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland), der Flächenintensität (Verkürzung der Brachezeiten) und der Viehbesatzdichten. Eine hohe Intensität ist mit einem langfristig hohen Bevölkerungsdruck - auch der landwirtschaftlichen Bevölkerung - in Zusammenhang zu sehen.

Diese drei Dimensionen der Wirtschafts- und Agrarentwicklung sind voneinander relativ unabhängig.

- **Die Preisentwicklung der für ein Land relevanten Agrarprodukte** in den vergangenen Jahrzehnten steht in engem Zusammenhang sowohl mit der rezenten Abholzung von Naturwald (2) als auch mit der Intensität der Flächennutzung (3). Es kann gefolgert werden, daß ein tendenziell sinkendes Agrarpreisniveau sowohl den Extensivierungsdruck als auch den Intensivierungsdruck auf das Land verstärkt hat. Darüber hinaus kann auch direkt im Regressionsmodell gezeigt werden, daß sinkende Produzentenpreise als wichtige Determinante der Bodenerosion in Entwicklungsländern zu betrachten sind.
- **In keinem Fall kann ein wesentlicher Einfluß von Armut auf das landesweite Ausmaß von Bodenerosion nachgewiesen werden.** Da in fast allen Entwicklungsländern nur ein kleiner Teil der landwirtschaftlichen Nutzfläche von Armen bewirtschaftet wird, ist dieses Ergebnis auf dem betrachteten Aggregationsniveau sachlogisch plausibel.
- Es bestehen Unterschiede in den Erklärungsmustern für verschiedene Erosionsformen und Klimazonen. Betrachtet man die Bodenerosion insgesamt in allen 73 Ländern, für die ausreichend Daten vorliegen, so stehen die Faktoren (1) und (2), also die langfristige Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche und die rezent Abholzung von Naturwald im Vordergrund. Die langfristige Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche hat als übergeordneter Faktor in allen Klimazonen und für alle Erosionsformen Bedeutung, bis auf die extrem humide Klimazone, wo das Ausmaß der Bodenerosion *quasi* ausschließlich mit den rezenten Abholzungsraten erklärt werden kann.

Zusätzlich zu den Faktoren (1) und (2) ist die Intensität der landwirtschaftlichen Produktion (3) vor allem für Wassererosion und in Ländern der mittleren Klimazone, d.h. mit wenig von extrem ariden und humiden Klimaten bestimmten Flächen, von Bedeutung. Gleichzeitig trägt hier ein neuer Faktor, die „Sophistikation *versus* Extensivierung der Nutzfläche“, zur Erklärung des Erosionsausmaßes bei: Je eher in den betrachteten Ländern der Weg einer relativen Ausdehnung der Dauerkulturflächen und der Intensivierung der Tierproduktion („Sophistikation“) im Gegensatz zur Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche gegangen wurde, desto geringer ist das Erosionsausmaß. In den Ländern der mittleren Klimazone verliert die rezent Abholzung gleichzeitig an Bedeutung. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, daß die rezent Abholzung zwar auch insgesamt, aber vor allem für das Vorkommen von Wassererosion und in Ländern mit hohem Anteil humider Klimate ein großes Problem ist.

Die Modelle für Winderosion und für den Verlust von Nährstoffen und organischer Substanz ohne Berücksichtigung der natürlichen Bedingungen sind insgesamt unbefriedigend. Als Gründe dafür, daß die Erklärungsmuster für die Wassererosion so viel

plausibler und besser im Sinne höherer Bestimmtheitsmaße sind als diejenigen für Winderosion und C-Degradation, kommen in Frage:

- Die ausgesuchten Variablen (Ausgangsvariablen, Faktorrepräsentanten), vor allem im natürlichen Bereich, orientieren sich eher am Problem Wassererosion.
 - Die von Winderosion und C-Degradation betroffenen Landesteile sind meist kleiner als die von Wassererosion betroffenen Flächen. Daher kann es auf nationalem Aggregationsniveau eher zur geographischen Entkopplung von Ursache-Wirkungs-Ketten kommen als bei der Wassererosion.
 - Die Anzahl der Länder, in denen Winderosion und C-Degradation überhaupt vorkommen, ist geringer als bei Wassererosion, so daß gerade bei der Betrachtung klimatisch homogener Ländergruppen mit sehr kleinen Stichproben gearbeitet werden muß.
-
- Die Berücksichtigung natürlicher Rahmenbedingungen ist vor allem für die Modelle, in denen einzelne Erosionsformen in Ländern mit heterogener Klimastruktur betrachtet werden, wichtig. Insbesondere in den Modellen für Winderosion und für C-Degradation scheinen natürliche Bedingungen die ausschlaggebende Rolle zu spielen: Während für Winderosion Aridität und Topographie im Vordergrund stehen, wird der Verlust von Nährstoffen und organischer Substanz vor allem durch die Humidität der landwirtschaftlichen Nutzfläche bestimmt.

DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG

8 Zusammenfassende Einschätzung und Diskussion der Ergebnisse

Die in der empirischen Analyse erzielten Ergebnisse werden aus vier Perspektiven diskutiert: Erstens werden sie inhaltlich im Kontext der theoretischen Hypothesen über die anthropogenen Determinanten der Bodenerosion und der Ergebnisse anderer Studien besprochen (8.1). Zweitens werden die Möglichkeiten und Grenzen der angewandten Methoden kommentiert (8.2). Drittens werden wesentliche Implikationen der Ergebnisse für die Gestaltung von Politikmaßnahmen abgeleitet (8.3). Viertens können Bereiche und Methoden benannt werden, deren Weiterentwicklung in künftigen Forschungsarbeiten eine Vertiefung und Erweiterung der gewonnenen Erkenntnisse erwarten läßt (8.4).

8.1 Einschätzung der Ergebnisse vor dem Hintergrund von Theorie und Ergebnissen anderer empirischer Studien

Mit dem Bevölkerungs-, Intensivierungs-, Abholzungs- und Preisdruck werden anthropogene Erosionsdeterminanten empirisch identifiziert, die mit zentralen theoretischen Hypothesen konsistent sind und zudem von den Ergebnissen anderer, lokaler empirischer Studien gestützt werden. Zur inhaltlichen Diskussion kann Folgendes festgehalten werden:

Bevölkerungsdruck und Intensivierung

Für den Bevölkerungsdruck können optimistische Szenarien und Studien, die die innovative und zugleich bodenschonende Rolle zunehmenden Bevölkerungsdrucks in den Vordergrund stellen, auf globalem Niveau nicht verallgemeinert werden (vgl. z.B. TIFFEN, 1994). Sowohl sehr langfristig als auch in den vergangenen Jahrzehnten scheint erhöhter Bevölkerungsdruck insgesamt eher erosionsfördernde Reaktionen der Wald- und Landnutzer bewirkt zu haben. Die Flächenextensivierung durch Abholzung und die langfristige Verminderung der Waldbestände sind hier an erster Stelle zu nennen. Des weiteren hat Bevölkerungsdruck in vielen Ländern zu einer Form der Flächenintensivierung geführt, deren wesentliche Merkmale die Brachezeitverkürzung und die Umwandlung von Dauergrünland in einjährig bebaute Flächen sind. Es überrascht kaum, daß diese der MALTHUS'schen pessimistischen Sicht zuzurechnenden Reaktionen auf Bevölkerungsdruck auch in der empirischen Analyse mit Bodenerosion in Zusammenhang stehen.

Interessant ist, daß Bevölkerungsdruck besonders eindeutig dann in Zusammenhang mit Erosion steht, wenn er an die Grenzen der lokalen agrarökologischen Tragfähigkeit stößt – und zwar in allen Klimazonen. Hierin kann auch eine Erklärung dafür gesehen werden, daß andere quantitative Studien recht widersprüchliche Ergebnisse liefern: Bis auf eine Ausnahme (GREPPERUD, 1996) wird ausschließlich der absolute Bevölkerungsdruck im Sinne der *person-land-ratio* untersucht (vgl. Kapitel 3.3), dessen erosive Wirkung aber – wie gezeigt werden konnte – von den agrarökologischen Bedingungen abhängt.

Agrarpreisniveau

Die Tatsache, daß Länder mit langfristig sinkendem Produzentenpreisniveau der jeweils relevanten Agrarprodukte tendenziell stärker von Bodenerosion betroffen sind, bestätigt verschiedene der theoretischen Hypothesen zur Wirkung von Preisdruck. Es ist anzunehmen, daß Produzenten, die sinkende Preistrends beobachten und für die Zukunft erwarten, tatsächlich hohe Zeitpräferenzen haben. Daher neigen sie eher zu kurzfristig ertragsteigernden Landnutzungspraktiken, die dem Boden schaden, wie LIPTON und WINTERS argumentieren (LIPTON, 1997; S. 150, WINTERS, 1990, S. 256). Kurzfristige, unerwartete Preissteigerungen hätten dann den Effekt, daß der Anreiz für eine gegenwartsorientierte, intensivere Nutzung des Bodens noch verstärkt würde.

All das bedeutet nicht, daß entgegengesetzte Preiswirkungen nicht existierten – PEARCE und WARFORD z.B. gehen davon aus, daß auch langfristig steigende Preise über den Anreiz für erosionsfördernde Intensivierungsmaßnahmen zu verstärkter Degradation führen können (PEARCE und WARFORD, 1993). Auch die ressourcenökonomische Sichtweise von BARRETT kann zwar anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht bestätigt, aber auch nicht relativiert werden. BARRETT leitet aus seinem Modell der optimalen Ressourcennutzung ab, daß Preisveränderungen sich gleichermaßen auf die Rentabilität der Produktion wie auf die des Bodenschutzes auswirken (BARRETT, 1991, S. 172), so daß das optimale Bodenschutzniveau unverändert bleibt. Die empirische Analyse vermag lediglich, den Netto-Effekt sinkender Preise zu erfassen. So ist zu vermuten, daß die negativen Wirkungen sinkender Preise auf die Art der Bodennutzung langfristig überwiegen.

Rezente Abholzung

Daß die rezente Abholzung von Naturwäldern relativ unabhängig von Art und Umfang der landwirtschaftlichen Nutzung in einem Land für Bodenerosion wichtig ist, spricht für die möglicherweise unterschätzte Bedeutung des Nachfragedrucks und der kommerziellen Waldnutzung. Welche Rolle Bedingungen und Entwicklungen außerhalb des landwirtschaftlichen produzierenden Sektors für die Entwaldung in Entwicklungsländern spielen, zeigen z.B. Studien wie die von LUTZ und DALY (1991), SHAFIK (1994), CAPISTRANO und KIKER (1995). In diesen Studien werden – jeweils für verschiedene Zeiträume und Regionen – verschiedene Akteure und Einflußgrößen wie die Holzindustrie, multinationale Nahrungsmittelkonzerne, Tropenholzpreise, der Grad der Investitionstätigkeit einer Volkswirtschaft (Umkehr des *Kuznets*-Prinzips) oder die Abwertung der heimischen Währung als Determinanten der Abholzung herausgearbeitet.

Armut

Der Stellenwert, der Armut bzw. armen Landnutzern mit präsumptiv kurzen Zeithorizonten als Verursacher von Bodenerosion in der wissenschaftlichen Diskussion beigegeben wird, ist auffällig hoch (vgl. Kapitel 3.2). Die diesbezüglichen Ergebnisse der empirischen Analyse geben allerdings Anlaß zu der Vermutung, daß die räumliche Dimension von Armut und Degradation bisher zu wenig beachtet wurde und daß die relative Bedeutung von Armut beim Zustandekommen von Bodendegradation deshalb tendenziell überschätzt wird. Beispielsweise wurden Landverteilungsaspekte bisher weder *in puncto* Datenerhebung noch bei theoretischen Ansätzen hinreichend berücksichtigt: Selbst wenn in einer Region ein sehr hoher Anteil Armer mit tatsächlich kurzen Zeithorizonten existiert, ist dann nicht mit einem hohen degradierten Flächenanteil zu rechnen, wenn die Armen so arm sind, daß sie insgesamt nur einen Bruchteil der gesamten Ressource Boden bewirtschaften.

Ein weiterer Punkt ist, daß die Literatur sich auf die Zeithorizonte und -präferenzen armer Landnutzer konzentriert, ohne sie ins Verhältnis zu denen nicht-armer Landnutzer zu setzen. Gerade auch die Ergebnisse zum Einfluß langfristiger Preisentwicklungen auf Bodenerosion legen aber nahe, daß die mit der Erwartung sinkender Preise verbundenen hohen Zeitpräferenzen allgemeiner Natur und nicht exklusiv den Armen vorbehalten sind. Es ist sogar wahrscheinlich, daß kommerziell orientierte Produzenten im Vergleich zu Subsistenzproduzenten - die meist zu den Ärmsten zählen - in ihren Produktionsentscheidungen stärker unter dem Einfluß sinkender Preise auf die Zeitpräferenz stehen. Zudem sind sie als potentielle Kreditnehmer der Wirkung hoher formeller und informeller Zinsniveaus stärker ausgesetzt als Bauern ohne jegliche Sicherheiten, die als Kreditnehmer ohnehin nicht in Frage kommen. Ebenso könnte das Ergebnis als Bestätigung der Hypothese gewertet werden, daß Arme aus der Not heraus die existentielle Ressource Boden besonders schützen (vgl. PAGIOLA, 1994, S. 2).

Keinesfalls läßt sich aus den Ergebnissen der vorliegenden Analyse der von theoretischen Überlegungen nach Art der *Kuznets*-Kurven verbreitete Langfrist-Optimismus herauslesen. Weder das Wohlstandsniveau noch das Wachstum desselben im Referenzzeitraum haben einen signifikanten Effekt auf Bodenerosion - und dies, obwohl sehr unterschiedliche Indikatoren für Wohlstand bzw. Armut analysiert werden. Gleichwohl ist davon auszugehen, daß selbst unter der Annahme einer *Kuznets*-Entwicklung in den meisten Entwicklungsländern noch ein enormes Wohlstandswachstum stattfinden müßte, bis daß die prognostizierte Prioritätenverlagerung hin zum Bodenerhalt als eigenständiges Ziel zum Tragen kommen kann (vgl. DIXON, 1998, S. 280).

8.2 Möglichkeiten und Grenzen der angewandten Methoden

Erstmalig werden in der vorliegenden Arbeit die kontrovers diskutierten Hypothesen über die anthropogenen Determinanten der Bodenerosion auf derart breiter, regionenübergreifender empirischer Basis für Entwicklungsländer analysiert. Im Vergleich zu anderen, lokalen oder auf einzelne Determinanten begrenzten empirischen Studien zum Thema ist der durch die identifizierten Bestimmungsfaktoren erklärte Erosionsanteil als durchaus hoch zu bewerten.

Durch die gewählte Methodenkombination, insbesondere auch durch den Einsatz von Methoden der explorativen Datenanalyse, konnten die Determinanten der Bodenerosion im Kontext ihrer tatsächlichen Beziehungen zueinander untersucht werden. Die Aufdeckung von Strukturen unter der Vielzahl möglicher Einflußvariablen und die Extraktion stabiler Faktoren auch für die Einflußvariablen einzelner Erosionsformen ist die Grundlage nicht nur für die Reduktion der Variablenanzahl bei gleichzeitiger Verringerung von Multikollinearitätsproblemen, sondern auch für eine umfassende Interpretation der Regressionsmodelle. So wurden Variablenbündel analysiert und als erosionsrelevant identifiziert, die teilweise auch für typische Entwicklungsmuster der Agrarsektoren von Entwicklungsländern stehen.

Ohne die ökologische Adaptation gängiger internationaler Datensammlungen wären vergleichbare Ergebnisse auf nationalem Aggregationsniveau aller Voraussicht nach nicht zu erzielen gewesen: Gerade für die Variablen mit ökologischem Charakter, wie z.B. für den verbleibenden bevölkerungsmäßigen Tragfähigkeitsspielraum, für die Abholzungsraten ausgedrückt als Anteil der Naturwaldfläche oder die Preisentwicklung der für ein Land agrarökologisch relevanten Produkte, konnte ein Zusammenhang mit Bodenerosion aufgezeigt werden.

Die Grenzen der vorliegenden Analyse sind weniger in der methodischen Vorgehensweise und dem gewählten Aggregationsniveau als vielmehr in der Datenlage, die diese weitgehend mitbestimmt hat, zu sehen:

- Es ist davon auszugehen, daß der nicht erklärte Varianzanteil der Bodenerosion zum Teil auf diejenigen Erosionsursachen zurückgeht, die aus Datengründen nicht berücksichtigt werden konnten. Insbesondere sind hier die Anbaumethoden, die Sicherheit der Landbesitzverhältnisse, institutionelle Regelungen sowie nicht zuletzt auch die politische und ökonomische *incentive*-Struktur der kommerziellen Waldnutzung zu nennen.
- Darüber hinaus ist es denkbar, daß das Aggregationsniveau der Analyse und damit möglicherweise verbundene geographische Entkopplungs-Effekte - gerade auch im Vergleich zu lokalen Studien - für einen Teil der nicht erklärten Varianz verantwortlich sind (vgl. CAPISTRANO und KIKER, 1995, S. 132 ff.). Daß derartige Entkopplungs-Effekte auf nationalem Niveau aber nicht

zwangsläufig auftreten, kann auch anhand der Ergebnisse zur *AEZ-ratio* gezeigt werden (vgl. Kapitel 6.3).

- Aus Gründen der Datenverfügbarkeit konnten weiterhin Rückkopplungseffekte innerhalb des Referenzzeitraumes nicht erfaßt werden, d.h. Reaktionen der Landnutzer auf verstärkte Bodenerosion, oder umgekehrte Abhängigkeiten, wie z.B. die durch eine verstärkte Erosion hervorgerufene Zunahme der Armut.

Die Erfassung dieser Effekte, eventuell anhand struktureller Mehrgleichungssysteme und entsprechender Methoden, die auch wechselseitige Abhängigkeiten berücksichtigen¹⁵⁸, erfordert allerdings Zeitreihen-Daten über den Stand der Bodenerosion, die bislang nicht vorliegen.

8.3 Implikationen der Ergebnisse für die Gestaltung von Politikmaßnahmen

Fraglos gehören die als erosionsrelevant identifizierten anthropogenen Rahmenbedingungen des langfristigen Bevölkerungs-, Intensivierungs- und Preisdrucks und der Abholzung eher zu den Größen, deren kurzfristige Beeinflussung durch politische Maßnahmen schwierig ist. Dennoch können folgende Ansätze für eine Schwerpunktsetzung bei der Gestaltung von Politikmaßnahmen sowie von Programmen und Projekten zur wirksamen Erosionsverminderung ausgemacht werden:

- (1) Ein sinnvoller Schwerpunkt der Bemühungen ist sicherlich die Reduktion des Bevölkerungsdrucks durch eine an die natürlichen Bedingungen und relativen Produktionsfaktorknappheiten angepaßte Erhöhung des Produktionspotentials bzw. eine bessere Nutzung der potentiellen Tragfähigkeit besonders betroffener Regionen (vgl. FAO, 1996b, S. 30). Nicht nur für die Regionen mit hohem Produktionspotential, auf die sich die Forschungs- und Politikbemühungen im Zeitalter der Grünen Revolution konzentriert haben, sondern ebenso für marginale, fragile Standorte werden hier auch von anderen Autoren erhebliche Spielräume gesehen (vgl. z.B. SCHERR und HAZELL, 1994). Dabei sollten nicht nur Innovationen im Bereich mechanisch-technischer Fortschritte, sondern ebenso im Bereich der Marktentwicklung, Verarbeitung und Beratung in Betracht gezogen werden.

Auf den Einsatz gezielter Bevölkerungspolitik soll hier nur am Rande verwiesen werden. Ob sie gerade im ländlichen Raum zu einer Reduktion des Bevölkerungsdrucks führt, hängt sicherlich auch von der ökonomischen Situation der jeweiligen Zielgruppe ab.

¹⁵⁸ Z.B. zweistufige Schätzverfahren (*two stage least squares method*).

- (2) Hinsichtlich des Preisdrucks wird es kaum ausreichen, bestehende Verzerrungen auf nationaler Ebene durch umfassende Liberalisierungsmaßnahmen zu verringern, wie teilweise vorgeschlagen wird. Vielmehr sollte bei nationalen Politiken die selektive, differenzierte Verbesserung der *incentive*-Struktur für bodenschonende Produkte, Produktionsfaktoren und Anbaumethoden über wirtschaftspolitische Eingriffe wie Produkt- und Faktorsubventionen sowie durch verbesserte institutionelle und rechtliche Rahmenbedingungen im Vordergrund stehen (vgl. BABU und HAZELL, 1998, S.9 f.).

Darüber sollte keinesfalls aus den Augen verloren werden, daß der langfristige Preisdruck im Agrarsektor zu einem wesentlichen Teil indirekt zustande gekommen ist, durch makroökonomische Politiken, vor allem durch Wechselkurs-, Zins- und Außenhandelspolitiken sowie durch Politiken in anderen Sektoren, wie z.B. die Protektion des Industriesektors (SCHIFF und VALDÉS, 1992). Im internationalen Kontext muß zudem die langfristige Weltmarktpreisentwicklung der für die Entwicklungsländer wichtigsten Agrarexportprodukte in den vergangenen Jahrzehnten und damit auch die Subventions- und Zinspolitik der Industrieländer im Zusammenhang mit dem nationalen Preisdruck gesehen werden. Zwar wird einerseits zu Recht darauf hingewiesen, daß eine direkte, gezielte Verringerung der Bodenerosion durch politische Maßnahmen im makroökonomischen und internationalen Bereich kaum zu erwarten ist (vgl. z.B. BARBIER, 1997)¹⁵⁹. Andererseits können angesichts der Bedeutung dieser indirekten und externen Wirkungen keine überhöhten Erfolgserwartungen an nationale Politikmaßnahmen geknüpft werden.

- (3) Aus der Bedeutung der kurz- bis mittelfristig wirksamen Abholzung von Naturwäldern für Bodenerosion können Ansatzpunkte für nationale Politiken vor allem in humiden Klimazonen abgeleitet werden. Da direkte Zusammenhänge zwischen den untersuchten Abholzungsraten und den Kenngrößen der Agrarentwicklung, insbesondere zur Extensivierung der Landnutzung im Agrarsektor, nicht direkt nachweisbar sind¹⁶⁰, sollte eine stärkere Fokussierung auf Forstpolitiken bzw. die Regulierung der kommerziellen Nutzung von Wäldern und Forstprodukten stattfinden.

Wie gezeigt werden konnte, ist ein Zusammenhang zwischen der Höhe der rezenten Abholzungsraten und der durch Bevölkerungswachstum induzierten Nachfrage nach Forst- und Agrarprodukten zu vermuten. Damit sind auch na-

¹⁵⁹ "These broader policy tools [macroeconomic and trade policy tools; Anm. d. Verf.] can have important environmental impacts but are generally more difficult or even dangerous to manipulate expressly to affect resource use." BARBIER, 1997, S. 134.

¹⁶⁰ Auch in anderen Studien stellen sich die Zusammenhänge widersprüchlich oder nicht nachweisbar dar (vgl. Studien in BROWN und PEARCE, 1994).

tionale Energiepolitiken und Versorgungskonzepte daraufhin zu prüfen, wie sie mit den jeweiligen Bodenschutzzielen bestmöglich in Übereinstimmung gebracht werden können (vgl. SHAFIK, 1994).

- (4) Auch wenn die Ergebnisse nahelegen, daß die relative Armut in den vergangenen Jahrzehnten nicht die entscheidende Determinante für das Ausmaß von Bodenerosion in Entwicklungsländern war, muß bei Politikentscheidungen immer berücksichtigt werden, daß arme Landnutzer sicherlich relativ am stärksten und häufig existentiell von Erosionsschäden betroffen sind. Da ein Großteil der Armen auf fragilen, marginalen Flächen ohne großes zusätzliches Potential wirtschaftet und *qua definitionem* auch über wenig andere Ressourcen verfügt, gibt es wenig Handlungsoptionen, mit denen die Armen ihre Situation bei zunehmender Bodenerosion verbessern können (vgl. PINSTRUP-ANDERSEN und PANDYA-LORCH, 1994, S. 10).

Ebenfalls nicht vernachlässigt werden darf die theoretisch fundierte und in der Analyse als Nebenergebnis bestätigte Beziehung zwischen Armut und dem ländlichen Bevölkerungswachstum. Ob und wann ein durch zunehmende Armut erhöhtes Bevölkerungswachstum wiederum in erosionsrelevanten Bevölkerungsdruck umschlägt, ist von agrarökologischen und anderen Bedingungen abhängig.

Insofern sind Armutsbekämpfungspolitiken und -strategien keinesfalls aus dem Erosionskontext wegzudenken, wenn auch die Gesamtheit armer Landnutzer in gewisser Weise bzgl. der Größenordnung ihres Einflusses auf Bodenerosion "entschuldet" werden kann. Armutsbekämpfung allein kann mittelfristig jedoch nicht geeignet sein, Bodenerosion in großem Maßstab zu reduzieren. Am ehesten ist von der langfristigen Wirkung verbesserter wirtschaftlicher Bedingungen auf die Bevölkerungswachstumsraten eine indirekte Verbesserung der Situation zu erwarten.

8.4 Weiterer Forschungsbedarf

Die Qualität zukünftiger Forschungsbemühungen wird maßgeblich von einer verbesserten Datenlage sowohl zur Entwicklung der Bodenerosion über die Zeit als auch zu den anthropogenen Determinanten der Bodenerosion abhängen. Für die anthropogenen Determinanten ist ausschlaggebend, wann auf standardisierte, georeferenzierte Daten zurückgegriffen werden kann. Es bedarf kaum einer näheren Erläuterung, daß eine umfassende, globale, georeferenzierte Datenbasis eine vollkommen neue Dimension der Forschung nicht nur in diesem Bereich mit sich bringen wird, sondern ebenso in all den Bereichen, die global relevante natürliche und sozioökonomische Prozesse und vor al-

lem deren Interaktion betreffen (vgl. TSCHIRLEY, 1997, S. 205 f.).

Angesichts der derzeitigen und für die nächste Zukunft zu erwartenden Datenlage ist es deswegen einerseits sicherlich sinnvoll, die nationalen und vor allem internationalen datenerhebenden Organisationen darin zu unterstützen, verstärkt georeferenzierte Methoden der Datenerhebung und –prozessierung einzuführen und durchzusetzen (vgl. FAO, 1996a, S. 36). Da dieser Prozeß sicherlich eher langwierig und kostspielig sein wird, ist es kurz- bis mittelfristig wichtig, bereits bestehende ökologisch orientierte Ansätze der Datenerhebung und –auswertung stärker mit vorhandenen ökonomischen Daten und Analysemethoden zu verbinden. Eine Grundlage hierfür könnten die im Rahmen der *Land Quality Indicators approach* zusammengestellten Daten sein (vgl. DUMANSKI et al., 1998), die mit ökonomischen Daten kombiniert werden müßten. Darüber hinaus ist es weiterhin von großer Bedeutung, auf national aggregierter Ebene gewonnene Erkenntnisse anhand von Studien, die lokal oder regional begrenzt sind, zu überprüfen und zu vertiefen.

Inhaltlich könnte eine stärkere Fokussierung auf die Rolle der kommerziellen Nutzung von Forstprodukten beim Zustandekommen von Bodenerosion in Entwicklungsländern dazu beitragen, die Ursachenforschung weiterzuführen. Ähnlich wie bei der durchgeführten Analyse müßte auch hier die Rolle nationaler und internationaler Preisentwicklungen sowie forstpolitischer Nutzungsregelungen stärker beleuchtet werden (vgl. RUDEL, 1994, in BROWN und PEARCE, S. 103) .

Gerade angesichts der für die Zukunft prognostizierten Unsicherheiten und Engpässe hinsichtlich der Ernährungssituation weiter Bevölkerungsteile in Entwicklungsländern (PINSTRUP-ANDERSEN et al., 1997, S. 5ff.; BAKKES und VAN WOERDEN, 1997, S. 61) sollten weitere Forschungsbemühungen zur Identifizierung erosionsrelevanter Rahmenbedingungen und Prozesse und zur Ableitung wirksamer Bodenschutzmaßnahmen eine prioritäre Rolle haben.

9 Zusammenfassung

Trotz des erheblichen Ausmaßes der Bodenerosion in vielen Entwicklungsländern ist bislang weitgehend unklar, welches ihre wesentlichen anthropogenen Ursachen sind, und damit auch, wo Politiken und Maßnahmen für den Erhalt der Nahrungs- und Produktionsresource Boden ansetzen sollten. Jenseits unmittelbarer natürlicher und landnutzerischer Ursachen stehen heute sozioökonomische Faktoren im Mittelpunkt der Diskussion, von denen angenommen wird, daß sie die Anbau- und Bodenschutzentscheidungen der Landnutzer und darüber das Ausmaß an Bodenerosion beeinflussen, insbesondere: (i) verstärkte Armut, (ii) zunehmender Bevölkerungsdruck, (iii) verzerrte Agrarpreise, (iv) unangepaßter technischer Fortschritt sowie (v) unsichere Landbesitzverhältnisse. Der Bedeutung dieser Bestimmungsfaktoren wird vorwiegend im Rahmen produktionsökonomischer Ansätze und der Theorie der Induzierten Innovation nachgegangen. Allerdings wird die Wirkung einzelner Ursachen in der Literatur sehr unterschiedlich eingeschätzt. So wird beispielsweise in eher optimistischen Szenarien davon ausgegangen, daß Armuts- und Bevölkerungsdruck langfristig zur Entwicklung und Verbreitung bodenschonender Innovationen führen. In negativen Szenarien überwiegen hingegen Stimmen, die gerade in diesem Druck bei gleichzeitigem Preisdruck die wesentlichen Ursachen für die kurzsichtige Übernutzung des Bodens sehen. Empirische Studien zur Fundierung der kontrovers diskutierten Hypothesen liegen bislang nur für einen jeweils begrenzten lokalen Kontext vor und sind kaum verallgemeinerbar. Vor diesem Hintergrund bieten die Daten der ersten weltweiten Erhebung zum Stand der Bodenerosion (GLASOD, UNEP/ISRIC, 1991) nunmehr die Möglichkeit, sozioökonomische und landnutzerische Determinanten der Bodenerosion auf überregionaler Ebene empirisch zu untersuchen.

Anhand der Aggregation und Analyse der im GLASOD enthaltenen Informationen wird zunächst deutlich, daß Afrika und Südostasien flächenmäßig mit jeweils rd. 4,5 Mio km² am meisten zur Degradation durch Bodenerosion und Nährstoffverluste¹⁶¹ in Entwicklungsländern beitragen, während der Anteil erodierter Fläche an der jeweiligen Gesamtfläche des Subkontinents¹⁶² in Südwestasien (37%), Mittelamerika und Südostasien (jeweils rd. 25%) am höchsten ist. Extrem stark erodierte Länder finden sich v.a. in Mittelamerika und Afrika: In El Salvador, Haiti und Costa Rica sind zwischen 60% und 90% der jeweiligen Landesfläche betroffen. In Afrika sind vor allem die nord- und westafrikanischen Sahelländer Tunesien, Mauretanien, Libyen, Niger, Burkina Faso und Mali, im Osten die Hochlandstaaten Burundi und Rwanda sowie schließlich die Kapverdischen Inseln, besonders stark erodiert (40% bis 80% der Landesfläche). Wassererosion hat den größten Anteil an der Erosionsfläche, in Mittelamerika und Südostasien sind sogar mehr als 70% der erodierten Fläche von Wassererosion betroffen.

¹⁶¹ Neben der Wasser- und Winderosion wird eine weitere Degradationsform, der Verlust von Nährstoffen und organischer Substanz, mitberücksichtigt und vereinfachend mit „Nährstoffverluste“ bezeichnet.

¹⁶² Gemeint ist die nutzbare Landesfläche, Ödland ausgenommen.

Für die empirische Analyse der Zusammenhänge zwischen Bodenerosion und möglichen Bestimmungsfaktoren wird ein exploratives, ökonometrisches Vorgehen auf Grundlage nationaler Daten gewählt¹⁶³. Die spezifische Aufeinanderfolge verschiedener Korrelations-, Faktoren- und Regressionsanalysen wird der großen Anzahl in Frage kommender Indikatorvariablen für mögliche Erosionsdeterminanten sowie den zu erwartenden Problemen der Multikollinearität und Modellspezifizierung in besonderem Maße gerecht. Letztere ergeben sich einerseits aus anzunehmenden Abhängigkeiten unter verschiedenen Erosionsdeterminanten. Andererseits macht der latente Charakter¹⁶⁴, den die aus einem mikroökonomischen Kontext abgeleiteten Erosionsursachen auf aggregierter Ebene haben, es notwendig, für jede der angenommenen Determinanten verschiedene, u.U. korrelierte Indikatorvariablen zu definieren, was zusätzlich Kollinearität bedingt.

Für Bodenerosion werden auf der Basis der national aggregierten GLASOD-Daten verschiedene Erosionsindizes definiert, die prinzipiell den von Wasser- und Winderosion sowie durch Nährstoffverluste betroffenen Anteil der nutzbaren Landesfläche wiedergeben. Die Datengrundlage für mögliche Erosionsdeterminanten wird ausgehend von Datensammlungen internationaler Organisationen für den Zeitraum 1961-1990 zusammengestellt. Für eine große Anzahl der in der Literatur diskutierten sozioökonomischen, landnutzerischen und auch natürlichen Rahmenbedingungen können repräsentative Indikatorvariablen definiert werden. Mangels geeigneter Indikatoren und Daten bleiben allerdings die Art und Sicherheit der Landbesitzverhältnisse unberücksichtigt. Insgesamt umfaßt die Datengrundlage rund 150 Variablen.

Die Ergebnisse der Einfachkorrelationsanalysen zwischen den Erosionsindizes und möglichen Determinanten dienen einer ersten Einschätzung der Zusammenhänge. Sie zeigen, daß länderübergreifend insbesondere Variablen des Bevölkerungsdrucks sowie der durchschnittliche Waldanteil mit dem Ausmaß Bodenerosion in Zusammenhang stehen. Die Abholzungsraten in den 80er Jahren sind vor allem mit dem Ausmaß der Wassererosion korreliert. Bei Betrachtung der Länder mittleren Klimas¹⁶⁵ können Zusammenhänge mit Variablen nachgewiesen werden, die die Landnutzungsintensität und die Ausdehnung der tatsächlichen Nutzfläche in Relation zur potentiellen Nutzfläche wiedergeben. Weiterhin stehen in der mittleren Klimazone tendenziell sinkende Produzentenpreise für Agrarprodukte in Zusammenhang mit dem Ausmaß der Erosion. Erwartungsgemäß ist die Bedeutung natürlicher Faktoren für einzelne Erosionsformen und Klimazonen charakteristisch. Insgesamt scheinen Variablen, die das Ergebnis einer vermutlich längerfristigen Entwicklung wiedergeben, mehr Bedeutung für das Ausmaß der Erosion zu haben als solche, die Veränderungen im Referenzzeitraum 1961-1990 erfassen.

¹⁶³ Georeferenzierte Daten liegen derzeit für sozioökonomische Erosionsdeterminanten noch nicht vor.

¹⁶⁴ D.h. Größen, von denen *a priori* nicht bekannt ist, wie sie beobachtet und gemessen werden können.

¹⁶⁵ Dies sind Länder, in denen weder extrem aride noch extrem humide Bedingungen vorherrschen.

Anhand verschiedener Faktorenanalysen für 62 Variablen und 73 Länder mit annähernd vollständigen Datensätzen können sodann strukturelle Zusammenhänge unter der Vielzahl möglicherweise relevanter Erosionsdeterminanten aufgedeckt und die Variablenanzahl auf Grundlage dieser Zusammenhänge auf eine geringere Anzahl weitgehend voneinander unabhängiger Größen reduziert werden. Es zeigt sich, daß die Struktur der Variablen durch etwa zehn gut interpretierbare Faktoren bei rd. 75% erklärter Gesamtvarianz klar wiedergegeben werden kann, und daß diese Faktoren auch bei Variation der Ausgangsvariablen sowie der Faktorextraktions- und Rotationsmethode stabil bleiben.

Bemerkenswert ist, daß viele der Faktoren einen deutlichen Bezug zu den in der Literatur diskutierten Wirkungsketten unter möglichen Erosionsdeterminanten haben. So werden in dem für die Erklärung der Gesamtvarianz wichtigsten Faktor Variablen gebündelt, die die langfristige Intensivierung der Landnutzung im Zusammenhang mit strukturellem Bevölkerungsdruck und begrenzter Verfügbarkeit landwirtschaftlich nutzbarer Flächen erfassen. Weitere wichtige Faktoren beziehen sich auf strukturelle Armut in Verbindung mit erhöhtem ländlichen Bevölkerungswachstum; auf die mit Bevölkerungsdruck einhergehende langfristige wie auch rezente Expansion der landwirtschaftlichen Nutzfläche und Abholzung von Naturwald; auf Entwicklungswege, die eher auf die Produktion hochwertiger Produkte statt auf eine Flächenexpansion abzielen. Für die Preisentwicklung im Referenzzeitraum kann anhand einer Faktorenanalyse mit reduzierter Länderanzahl¹⁶⁶ gezeigt werden, daß ein Zusammenhang zwischen langfristig geringen oder negativen Preiszuwächsen im Agrarsektor und dem Faktor „Rezente Abholzungsraten“ besteht.

Um die relative Bedeutung dieser Faktoren für Bodenerosion zu quantifizieren, werden schrittweise Regressionsanalysen mit Bodenerosion als abhängiger Variablen und ausgewählten Repräsentantenvariablen für jeden Faktor als angenommenen unabhängigen Variablen durchgeführt¹⁶⁷. Es lassen sich drei besonders relevante anthropogene Entwicklungen identifizieren, anhand derer das Erosionsausmaß bis zu rund 75% erklärt werden kann: (1) die langfristige, historische Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf Kosten des Waldbestandes in Zusammenhang mit einem Gesamtbevölkerungsdruck, der gegen Ende der 80er Jahre die agrar-ökologische Tragfähigkeit überschreitet; (2) die rezente Abholzung von Naturwald, die in Zusammenhang mit dem Wachstum der Gesamtbevölkerung zu sehen ist. Hier scheinen weniger der Druck der Agrarbevölkerung und die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche - also die Produktionsseite - im Vordergrund zu stehen, als vielmehr der Druck der Nachfrageseite, in Kombination mit einem tendenziell sinkenden Agrarpreisniveau, das den Expansionsdruck auf das Land verstärkt hat. (3) Die langfristige, bevölkerungsdruckinduzierte Intensivierung der Agrarproduktion, vor allem durch Umwandlung von Dauergrünland in

¹⁶⁶ Für die entsprechende Variable liegen nur Daten für 56 Länder vor.

¹⁶⁷ Umgekehrte Wirkungen der Erosion auf die als unabhängig angenommenen anthropogenen Variablen sind im Betrachtungszeitraum - bis auf die Armutswirkung starker Erosion - unwahrscheinlich.

Ackerland, verkürzte Brachezeiten und erhöhte Viehbesatzdichten. Ein weiteres Ergebnis ist, daß in keinem Fall ein wesentlicher Einfluß von Armut auf das landesweite Ausmaß der Bodenerosion nachgewiesen werden kann - wie bereits die Ergebnisse der Einfachkorrelationsanalysen für immerhin 15 verschiedene Armutsindikatoren vermuten lassen.

Es bestehen Unterschiede in den Erklärungsmustern für verschiedene Erosionsformen und Klimazonen. Die rezenten Abholzungsraten haben für Wassererosion, insbesondere in Ländern der extrem humiden Klimazone, herausragende Bedeutung. Zusätzlich zu den Faktoren (1) und (2) ist die Intensität der landwirtschaftlichen Produktion (3) vor allem für Wassererosion und in Ländern der mittleren Klimazone von Bedeutung. Hier ist auch die negative Wirkung einer sinkenden Agrarpreisentwicklung am stärksten. Gleichzeitig gilt hier: je eher der eingeschlagene Entwicklungsweg auf die Produktion hochwertiger Produkte im Gegensatz zur reinen Flächenexpansion abzielt, desto geringer ist das Erosionsausmaß. Für das Ausmaß der Winderosion und der Degradation durch Nährstoffverluste hingegen sind insbesondere die agroklimatischen Bedingungen ausschlaggebend.

Die als erosionsrelevant identifizierten anthropogenen Rahmenbedingungen sind mit zentralen theoretischen Hypothesen konsistent. Fraglos gehören sie eher zu den Größen, deren kurzfristige Beeinflussung durch politische Maßnahmen schwierig ist. Dennoch können folgende Ansätze für eine Schwerpunktsetzung bei der Gestaltung von Politikmaßnahmen zur wirksamen Erosionsverminderung abgeleitet werden:

- (1) Die Reduktion des Bevölkerungsdrucks durch eine an die natürlichen Bedingungen und relativen Faktorknappheiten angepasste Erhöhung des Produktionspotentials, gerade auch in Regionen mit relativ niedrigem Potential.
- (2) Eine stärkere Fokussierung auf Forstpolitiken bzw. auf eine Regulierung der kommerziellen Nutzung von Wäldern, vor allem in humiden Klimazonen.
- (3) Eine selektive, langfristig angelegte Verbesserung der *incentive*-Struktur für bodenschonende Produkte und Anbaumethoden über wirtschaftspolitische Eingriffe sowie durch verbesserte institutionelle und rechtliche Rahmenbedingungen.

Von Politiken zur Armutsbekämpfung ist hingegen nicht zu erwarten, daß sie maßgebliche Impulse zur Verminderung der Bodenerosion geben können. Es muß jedoch immer präsent bleiben, daß arme Landnutzer sicherlich am stärksten und häufig existentiell von Erosionsschäden betroffen sind.

Die Qualität zukünftiger Forschungsbemühungen auf globaler Ebene wird vor allem von der zukünftigen Datenverfügbarkeit und -qualität bestimmt: Für den Stand der Bodenerosion sind Informationen für verschiedene Zeitpunkte erforderlich; für anthropogene Erosionsdeterminanten eröffnen georeferenzierte Daten der Forschung gänzlich neue Perspektiven. Parallel zu überregionalen Analysen sind weitere lokale, sub-nationale Studien unbedingt notwendig, um umfassend zu ergründen, warum und welche Landnutzer die Ressource Boden in einem konkreten sozioökonomischen Kontext degradieren.

10 Summary

By the end of this century, soil erosion has reached an alarming extent in many developing countries. Still, uncertainty prevails regarding the human-induced causes of soil erosion. In consequence, many efforts to design efficient anti-erosion policies and instruments remain erratic.

The actual discussion about human-induced causes of soil erosion focusses on socio-economic factors that assumably influence the land users' decisions on agricultural production and soil protection, and, hence, the degree of soil erosion. The most frequently discussed factors are: (i) poverty, (ii) population pressure, (iii) biased agricultural prices, (iv) the introduction of inadequate technical innovations and (iv) insecurity of land tenure. They are basically deduced from and discussed on base of production theory and the theory of induced innovation. Nevertheless, the different views on the importance to be assigned to the single factors are quite controverse. For example, in a rather optimistic scenario, it is argued that poverty and population pressure lead to the development of soil-conserving innovations in the long run. On the other side, poverty and population pressure, in combination with falling agricultural prices, are assumed to lead to a short-termist overuse of the soil. Empirical evidence that supports some of the controverse hypotheses on the causes of soil erosion is restricted to local studies based on local data on soil erosion, their results can hardly be generalized. In this context, the spatial data compiled within the global assessment of human-induced soil degradation (GLASOD; UNEP/ISRIC, 1991) for the first time permits a large-scale empirical analysis of socio-economic and landuse factors relevant to erosion.

By aggregating the information of the GLASOD data, countries and regions which marked soil erosion can be identified. While Africa and Asia most contribute to the extent of soil erosion and the loss of nutrients¹⁶⁸ in absolute terms (4,5 mio sqkm each), it is in Southwest Asia (37%), Central America and Southeast Asia (25% each), where the proportion of the land area - excluding wastelands - that is affected reaches the highest levels. Looked at on a national level, countries with an extreme extent of soil erosion are to be found in Central America and Africa: In El Salvador, Haiti and Costa Rica, 60 to 90 percent of the land area¹⁶⁹ are affected. In Africa, Sahelian Countries as Tunisia, Mauretania, Libya, Niger, Burkina Faso and Mali, as well as the eastafrican highlands of Burundi and Rwanda, and also Cape Verde show the highest proportions of eroded land area² (40 to 80 %). Water erosion is the most widespread type of erosion, in Central America and Southeast Asia it even contributes with about 70% to the area affected by erosion and the loss of nutrients¹.

¹⁶⁸ The loss of nutrients and organic matter, independent of soil erosion, is also considered and is abbreviated with the term 'loss of nutrients' in this text.

¹⁶⁹ Again, it is the land area excluding wasteland that is being referred to.

The methodological approach chosen for the empirical analysis of human-induced causes of soil erosion is an explorative, econometric one, based on national cross-country data¹⁷⁰. A specific combination of correlation analyses, factor analysis, and regression analysis is designed, that can handle the great number of possible indicators for the assumed causes of erosion, and cope with related problems of multicollinearity and model specification. Those problems result from supposed interrelationships among different human-induced causes of soil erosion. At the same time, many of the causes of erosion have a latent character when considered on a national level¹⁷¹, since they are deduced from a microeconomic context. This makes it necessary to define various indicator variables for each of them, which, again, implies additional multicollinearity.

On the basis of the aggregated GLASOD data, a set of operational variables for soil erosion is defined. They basically indicate the proportion of a country's degradable land area (i.e. land area minus wastelands) that is eroded through wind, water, or degraded by the loss of nutrients and organic matter by the end of the 80's. In turn, the database for possible determinants of erosion is compiled departing from standard international data sets for the time span 1961-1990. Representative indicators can be defined for many of the causative factors discussed in literature, as well for socioeconomic ones, as for landuse, and also for natural factors. They are adapted in a way that they not only best fit and capture the hypothesized determinants, but also the ecological and timely dimension of the analysis. One important field that is not covered is land tenure. The resulting database comprises about 150 variables for possible causative factors, with a varying number of country-data available.

The results of correlation analyses between the indicator variables for soil erosion and for possible causative factors facilitate a first assesion of relevant relationships. They show, that variables that quantify population pressure and the proportion of forested area are correlated with soil erosion for all countries. Deforestation rates in the 80's are especially related to water erosion. Considering only countries without extreme climatic conditions¹⁷² correlations are found between soil erosion and variables for the intensity of land use and the degree of expansion of the agricultural frontier. Producer price declines for relevant agricultural products are also found to be correlated with soil erosion in these countries. Corresponding to theoretical assumptions, the importance of different natural factors vary for different types of erosion and climatic zones. Altogether, variables that express structural conditions and can be regarded as the outcome of historical, long-term developments, seem to have stronger correlation with the extent of soil erosion than variables that quantify changes that took place within the time span under consideration, 1961 to 1990.

¹⁷⁰ Spatial data sets are not available yet for socioeconomic factors related to soil erosion.

¹⁷¹ I.e. it is not known *a priori*, how these causes can be measured and quantified.

¹⁷² I.e. countries without predominant arid, hyper-arid or humid agroclimatic conditions.

The next methodological step consists in different factor analyses for 62 of the variables that express possible causative factors and for 73 countries with approximatively complete data sets. The principal objectives are to detect structural interrelationships among the multitude of variables and to reduce their number on the basis of these interrelations, in a way to obtain a set of variables that are largely independent of each other. It turns out that the structure of the 62 variables under consideration can clearly be reproduced by about 10 factors, with about 75% of their total variance being explained. These factors prove to be robust with respect to changes in the set of included variables, and in the methods of extraction and rotation.

It is noteworthy, that many of the identified factors refer to cause-effect relationships that are discussed in literature. For instance, the factor that explains the greatest part of total variance, combines variables that quantify the long-run intensification of land use with others that stand for structural population pressure and a limited buffer for the expansion of the agricultural area. Other important factors relate to structural poverty, in combination with high rates of rural population growth; to the long-term and recent deforestation and to total population pressure; to development paths that aim at sophisticated animal production and permanent culture rather than at a mere expansion of the agricultural area. Other factors stand for the prevailing natural conditions. Based on a factor analysis for a reduced number of countries, it can be shown that declining aggregate agricultural producer prices¹⁷³ are associated with the factor 'recent deforestation rates'.

To quantify the relative importance of the identified factors, stepwise regression analyses are then carried out, with soil erosion as the dependent variable and selected representative variables for each of the factors as presumed independent variables¹⁷⁴. Three human-induced factors, or developments, show to have particular relevance for the extent of soil erosion, that they can explain to up to 75%: (1) the long-run historical expansion of the agricultural frontier at the expense of the forested area, in combination with a population pressure well above the corresponding supporting capacities in the 80's; (2) recent deforestation rates in conjunction with total population growth. This effect can rather be associated with a growth of demand for agricultural and forestal products and declining agricultural prices than with pressures directly resulting from agricultural population and expansion; (3) the long-run intensification of land use, mainly through the conversion of permanent pastures to arable land, the shortening of fallow periods, and the increase of animal densities. This type of intensification is associated with and possibly induced by high structural population pressure in agricultural areas. Another important result is that poverty seems to have minor impact on the extent of soil erosion at the aggregate, national level. None of the included variables that represent the factor 'poverty' shows a signi-

¹⁷³ The availability of data for the variable in cause is limited to 56 countries.

¹⁷⁴ Reciprocal effects that soil erosion might have on anthropogenic factors are not very likely to occur within the considered time span, except a possible increase of poverty due to erosion.

ficant relative impact, neither in the models for the sum of erosion nor for specific types of erosion or climatic zones. This fact supports the low correlation coefficients for altogether 15 different poverty indicators that were calculated in the context of simple correlation analysis.

Specific models for specific types of erosion and climatic zones show that there exist characteristic patterns of explanation for each type and zone. Recent deforestation rates and the associated features (factor (2)) are particularly important in the explanation of water erosion, especially in countries with predominant humid climate. The impact of production-intensity in terms of factor (3) is specific for water erosion, and for countries without extreme climatic conditions, together with the factors (1) and (2). This is also where the negative effect of declining agricultural prices appears to be strongest. At the same time, the development of sophisticated animal production and the growth of the area under permanent culture in contrast to a mere expansion of the agricultural area seem to be favourable to the soil in this context. In the explanation of wind erosion and loss of nutrients, natural factors are in the foreground.

The identified, human-induced pressures related to long-term population growth, intensification, agricultural price decline and recent deforestation are consistent with important theoretical hypotheses. Those pressures are clearly not of the type that can be overcome overnight through political intervention. Nevertheless, they lead to the following areas of intervention that should be given priority in the design of policy measures for the reduction of soil erosion:

- (1) A reduction of population pressure through an increase in site-specific production potentials, based upon innovations that match the prevailing agro-ecological and economic conditions. Special attention should be given to low potential areas.
- (2) A stronger focus on forest policy and the regulation of commercial forest use especially in the humid zone.
- (3) A selective, long-term improvement of economic incentives for the production of soil-conserving crops with soil-conserving methods, by means of economic policy as well as through improved institutional conditions.

Policies that aim at the reduction of poverty can not be expected to play a decisive role in the reduction of soil erosion. In spite of that, it is most necessary that policy makers keep in mind that the poor certainly are most affected by and vulnerable to erosion damages.

At a global scale, the quality of future research on the topic will largely be determined by data availability and quality: concerning soil erosion, information at different points in time is necessary; for anthropogenic factors, spatial datasets will bring a new dimension into scientific research. Parallel with global analyses, further in depth local studies are necessary for a comprehensive and detailed insight into why and which land users degrade the resource they depend on in a specific socioeconomic context.

LITERATURVERZEICHNIS

- Alexandratos, N. (Hrsg.) (1988): *World Agriculture: Towards 2000. An FAO Study.* London und New York: Belhaven Press
- Alexandratos, N. (Hrsg.) (1995): *World Agriculture Towards 2010. An FAO Study.* Chichester: John Wiley & Sons
- Anderson, J.R.; Thampapillai, D.J. (1990): *Soil Conservation in Developing Countries: Project and Policy Intervention. The World Bank Policy and Research Series Nr. 8.* Washington, D.C.: The World Bank
- Arrow, K.J.; Bolin, B.; Costanza, P.; Dasgupta, P.; Folke, C.; Holling, C.S.; Jansson, B.O.; Levin, S.; Mäler, K.G.; Perrings, C.; Pimentel, D. (1995): *Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment.* In: *Science*, Jg. 268, S. 520-522
- Babu, S.; Hazell, P. (1998): *Growth, Poverty, and the Environment in the Fragile Lands of Sub-Saharan Africa. Paper Presented at the International Conference on Strategies for Poverty Alleviation and Sustainable Resource Management in the Fragile Lands of Sub-Saharan Africa, May 25-29, 1998, Entebbe, Uganda*
- Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R. (1994): *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung.* Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag
- Bakkes, J.; Woerden, J.v. (1997): *The Future of the Global Environment: A Model-Based Analysis Supporting UNEP's First Global Environmental Outlook. Environment Information and Assessment Technical Report Nr. 1.* Nairobi und Bilthoven: United Nations Environmental Programme (UNEP) und National Institute of Public Health and the Environment (RIVM)
- Barbier, E.B. (1997): *Macroeconomic and Sectoral Policies, Natural Resources, and Sustainable Agricultural Growth.* In: Vosti, S.A.; Reardon, T. (Hrsg.): *Sustainability, Growth, and Poverty Alleviation. A Policy and Agroecological Perspective.* Baltimore und London: The Johns Hopkins University Press, S. 119-134
- Barbier, E.B.; Bishop, J.T. (1995): *Economic Values and Incentives Affecting Soil and Water Conservation in Developing Countries.* In: *Journal of Soil and Water Conservation*, March-April 1995, S. 133-137
- Barbier, E.B.; Burgess, J.C. (1997): *The Economic Analysis of Tropical Forest Land Use Options.* In: *Land Economics* Nr. 73, S. 174-195
- Barrett, S. (1991): *Optimal Soil Conservation and the Reform of Agricultural Pricing Policies.* In: *Journal of Development Economics*, Jg. 36, S. 167-187
- Bilsborrow, R. (1987): *Population Pressures and Agricultural Development in Developing Countries: A Conceptual Framework and Recent Evidence.* In: *World Development* Nr. 15 (2), S. 183-203

- Bilsborrow, R.; Geores, M. (1994): Population, Land-Use and the Environment in Developing Countries: What Can We Learn from Cross-National Data? In: Brown, K.; Pearce, D.W. (Hrsg.): The Causes of Tropical Deforestation. The Economic and Statistical Analysis of Factors Giving Rise to the Loss of the Tropical Forest. London: UCL Press Limited, S. 106-133
- Binswanger, H.P.; Ruttan, V.W. (Hrsg.) (1978): Induced Innovation. Technology, Institutions and Development. Baltimore und London: The Johns Hopkins University Press
- Biot, Y; Blaikie, P.M.; Jackson, C.; Palmer-Jones, R. (1995): Rethinking Research on Land Degradation in Developing Countries. World Bank Discussion Paper Nr. 289. Washington, D.C.: The World Bank
- Blaikie, P. (1985): The Political Economy of Soil Erosion in Developing Countries. London und New York: Longman
- Blaikie, P.; Brookfield, H. (Hrsg.) (1987): Land Degradation and Society. London und New York: Routledge
- Bond, M.E. (1983): Agricultural Responses to Prices in Sub-Saharan African Countries. In: International Monetary Fund Staff Papers, Bd. 30, Nr. 4, S. 703-726
- Bork, H.-R. (1988): Bodenerosion und Umwelt. Verlauf, Ursachen und Folgen der mittelalterlichen und neuzeitlichen Bodenerosion, Bodenerosionsprozesse, Modelle und Simulationen. Reihe Landschaftsgenese und Landschaftsökologie, Heft 13 der Abteilungen für physische Geographie und Landschaftsökologie und physische Geographie und Hydrologie der Technischen Universität Braunschweig. Braunschweig
- Boserup, E. (1965): The Conditions of Agricultural Growth: The Economics of Agrarian Change under Population Pressure. Chicago: Aldine Publishing
- Boserup, E. (1981): Population and Technological Change: A Study of Long-Term Trends. Chicago: The University of Chicago Press
- Boserup, E. (1990): Economic and Demographic Relationships in Development. Essays Selected and Introduced by T. Paul Schultz. Baltimore und London: The Johns Hopkins University Press
- Box, G.E.P.; Hunter, W.G.; Hunter, J.S. (1978): Statistics for Experimenters. New York: Wiley
- Brandes, W; Woermann, E. (1969): Landwirtschaftliche Betriebslehre. Band 1: Allgemeiner Teil. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer
- Brown, K.; Pearce, D.W. (Hrsg.) (1994): The Causes of Tropical Deforestation. The Economic and Statistical Analysis of Factors Giving Rise to the Loss of the Tropical Forest. London: UCL Press Limited

- Camboni, S., Napier, T.L. (1994): Socioeconomic Barriers to the Adoption of Soil Conservation Practices in the United States. In: Napier, T.L.; Camboni, S.; El-Swaifi, S.A. (Hrsg.): Adopting Soil Conservation on the Farm: An International Perspective on the Socioeconomics of Soil and Water Conservation. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, S. 59-74
- Capistrano, A.D. (1994): Tropical Forest Depletion and the Changing Macroeconomy, 1967-85. In: S. Brown, K.; Pearce, D.W. (Hrsg.): The Causes of Tropical Deforestation. The Economic and Statistical Analysis of Factors Giving Rise to the Loss of the Tropical Forest. London: UCL Press Limited, S. 68-85
- Capistrano, A.D.; Kiker, C. (1995): Macro-Scale Economic Influences on Tropical Forest Depletion. In: Ecological Economics Nr. 14., S. 21-29
- Centre for Development and Environment (CDE) (1996): World Overview of Conservation, Approaches and Technologies (WOCAT). Workshop Proceedings and Steering Committee Meeting of an International Workshop held in Sigriswil, Switzerland, 6-14 May 1996, Bern
- Cleaver, K.M.; Schreiber, G.A. (1994): Reversing the Spiral: The Population, Agriculture, and Environment Nexus in Sub-Saharan Africa. Washington, D.C.: The World Bank
- Common, M. (1995): Sustainability and Policy: Limits to Economics. Sydney: Cambridge University Press
- Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR) (1996): The Consultative Group on International Agricultural Research 1971 – 1996. 25 Years of Food and Agriculture Improvement in Developing Countries. Washington, D.C.
- Conway, G.R.; Barbier, E.B. (1990): After the Green Revolution. Sustainable Agriculture for Development. London: Earthscan Publications
- Coxhead, I.; Jayasuriya, S. (1995): Trade and Tax Policy Reform and the Environment: The Economics of Soil Erosion in Developing Countries. In: American Journal of Agricultural Economics, Jg. 77, S. 631-644
- Cramer, J.S. (1964): Efficient Grouping, Regression and Correlation in Engel Curve Analysis. In: Journal of the American Statistical Association, Jg. 59, S. 233-250
- Crosson, P. (1992): The Global Supply of Agricultural Land. In: Anderson, J.R.; deHanan, C.: Public and Private Roles in Agricultural Development. Proceedings of the 12th Agricultural Sector Symposium. Washington, D.C.: The World Bank, S. 155-170
- Crosson, P.; Federation of American Scientists Fund (Hrsg.) (1996): Perspectives on the Long-Term Global Food Situation. A Periodical Inquiry into the Prospects for Satisfying the Future Global Demand for Food. Issue Number 3, Summer 1996, Washington, D.C.

- Deacon, R.T. (1994): Deforestation and the Rule of Law in a Cross-Section of Countries. In: *Land Economics*, Jg. 70, Nr. 4, S. 414-430
- De Haen, H. (1997): Environmental Consequences of Agricultural Growth in Developing Countries. In: Vosti, S.A.; Reardon, T. (Hrsg.): *Sustainability, Growth, and Poverty Alleviation. A Policy and Agroecological Perspective*. Baltimore und London: The Johns Hopkins University Press, S. 34-46
- Deichmann, U.; Eklundh, L. (1991): Global Digital Data Sets for Land Degradation Studies: a GIS Approach. GRID Case Study Series Nr. 4; Nairobi: UNEP/GEMS und GRID
- Dixon, J.A. (1998): Comment on 'Environment, Poverty, and Economic Growth' by Karl-Göran Mäler. In: Pleskovic, B.; Stiglitz, J.E. (Hrsg.): *Annual World Bank Conference on Development Economics 1997*. Washington, D.C.: The World Bank, S. 277-281
- Dumanski, J.; Gameda, S.; Pieri, C. (1998): Indicators of Land Quality and Sustainable Land Management: An Annotated Bibliography. Environmentally and Socially Sustainable Development Series. Rural Development Subseries. Washington D.C.: The World Bank
- Dumanski, J.; Pieri, C. (1997): Application of the Pressure-State-Response Framework for the Land Quality Indicators (LQI) Programme. In: *Food and Agricultural Organization: Land Quality Indicators and their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development. Proceedings of the Workshop 25-26 January 1996. A Set of Working Papers Prepared under the Land Quality Indicators Initiative*. FAO Land and Water Bulletin Nr. 5., Rom S. 35-56
- Dziuban, C. D.; Shirkey, E. C. (1974): When is a Correlation Matrix Appropriate for Factor Analysis? Some Decision Rules. In: *Psychological Bulletin*, Jg. 81, Nr. 6, S. 358 - 361
- English, J.; Tiffen, M.; Mortimore, M. (1994): Land Resource Management in Machakos District, Kenya. 1930-1990. World Bank Environmental Paper Nr.5. Washington D.C.: The World Bank
- Ervin, C.A.; Ervin, D.E. (1982): Factors Affecting the Use of Soil Conservation Practices: Hypotheses, Evidence, and Policy Implications. In: *Land Economics*, Jg. 58, Nr.3, S. 277-292
- Fahrmeir, L; Hamerle, A. (Hrsg.) (1984): *Multivariate Statistische Verfahren*. Berlin, New York: de Gruyter
- Fischer, G. (1996): Modelling the Driving Forces of Land-Use and Land-Cover Change: The IIASA Land-Use Change Project. In: *UNEP/RIVM: Report of the UNEP/RIVM/PE Workshop on Global and Regional Modeling of Food Production and Land Use and the Long-term Impact of Degradation of Land and Water Resources*, Bilthoven, the Netherlands, 20-22 May 1996, Annex V-2 bis V-10

- Flury, B. (1988): Common Principal Components and Related Multivariate Models. New York: John Wiley & Sons
- Fones-Sundell, M. (1987): Role of Price Policy in Stimulating Agricultural Production in Africa. Swedish University of Agricultural Sciences, International Rural Development Centre, RD Analysis Section: Issue Paper Nr.2, Uppsala
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (1992): The State of Food and Agriculture 1991. World and Regional Reviews, Agricultural Policies and Issues: Lessons from the 1980s and Prospects for the 1990s. Rom
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (1993): Forest Resources Assessment 1990. Tropical Countries. FAO Forestry Paper Nr. 112. Rom
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (1994): Digitized Maps of the Major Climatic Division and Length of Growing Period Zones for the Developing World. Notes. Rom
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (1995): Forest Resources Assessment 1990. Global Synthesis. FAO Forestry Paper Nr. 124. Rom
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (1995a): The State of Food and Agriculture 1995. Agricultural Trade: Entering a New Era? Rom
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (1995b): Digital Soil Map of the World. Version 3.5, November 1995. Rom
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (1996): Agro-ecological Zoning. Guidelines. FAO Soils Bulletin Nr. 73. Rom
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (1996a): Food Production and Environmental Impact. Technical Background Document 11 for the World Food Summit, 13-17 November 1996, Rome, Italy. Rom
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (1997): Statistics on Prices Received by Farmers. Zusammenfassung der Daten der gleichnamigen FAO-Publikationen (1988, 1991, 1995) auf Diskette. Seit Ende 1997 im Internet veröffentlicht in: <http://www.fao.org>
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (1997a): Land Quality Indicators and their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development. Proceedings of the Workshop 25-26 January 1996. A Set of Working Papers Prepared under the Land Quality Indicators Initiative. FAO Land and Water Bulletin Nr. 5., Rom
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (1997b): Geographic Information System: Cartographic Databases. Rom, unveröffentlicht
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO): World Agricultural Information Centre (WAICENT) and FAOSTAT/AGROSTAT. In: <http://www.fao.org>

- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO); International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) (1991): Soil Erosion and Productivity. Agroecological Land Resources Assessment for Agricultural Development Planning, a Case Study of Kenya. Resources Database and Land Productivity, Technical Annex 2, Land and Water Development Division and International Institute for Applied Systems Analysis, Rom
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO); United Nations Fund for Population Activities (UNFPA) (1984): Report on the Second FAO / UNFPA Expert Consultation on Land Resources for Populations of the Future. Rom
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO); United Nations Fund for Population Activities (UNFPA); International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) (1982): Potential Population Supporting Capacities of Lands in the Developing World. Technical Report of Project INT/75/P13 'Land Resources for Populations of the Future'. Rom
- Gabler Wirtschafts-Lexikon (1993). 13. Auflage. Wiesbaden: Gabler.
- Goetz, R. (1997): Diversification in Agricultural Production: A Dynamic Model of Optimal Cropping to Manage Soil Erosion. In: American Journal of Agricultural Economics, Jg. 79, S. 341-356
- Gorn, P.; Herrmann, R.; Schalk, B. (1993): The pattern of Protection for Food Crops and Cash Crops in Developing Countries. In: European Review of Agricultural Economics, Jg. 20, S. 291-314)
- Greene, W.H. (1997): Econometric Analysis. Dritte Auflage. Upper Saddle River: Prentice-Hall
- Grepperud, S. (1996): Population Pressure and Land Degradation: The Case of Ethiopia. In: Journal of Environmental Economics and Management, Jg. 30, Nr. 1, S. 18-33
- Hardin, G. (1968): The Tragedy of the Commons. In: Science, Jg. 162, S. 1243-1248
- Hatzius, Thilo (1995): Resource Degradation in Rural Areas of Developing Countries from an Institutional Economic Perspective. Lehrstuhl für internationale Wirtschafts- und Entwicklungspolitik an der Universität Heidelberg. Forschungsstelle für internationale Agrar- und Wirtschaftsentwicklung e.V., Research Proposal
- Hayami, Y.; Ruttan, V.W. (1985): Agricultural Development: An International Perspective. Zweite Auflage. Baltimore: The Johns Hopkins University Press
- Hazell, P. (Gasthrsg.) (1998): Agricultural Growth, Poverty and the Environment - Papers presented during the XXIII International Conference of the International Agricultural Economists Held in Sacramento, CA, USA, August 10-16, 1997. Agricultural Economics 19 (1998), Special Issue
- Heath, J.; Binswanger, H. (1996): Natural Resource Degradation Effects of Poverty and Population Growth are Largely Policy-Induced: The Case of Colombia. In: Environment and Development Economics Nr. 1 (1996), S. 65 - 83

- Henrichsmeyer, W.; Witzke, H.P. (1991): Agrarpolitik. Band 1: Agrarökonomische Grundlagen. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer
- Herrmann, R. (1993): Methoden zur Messung von Agrarprotektion. In: „WISU – Das Wirtschaftsstudium“, Jg. 22, Nr.10, S. 861-874
- Herrmann, R. (1994): Ausmaß und Struktur der Agrarprotektion im weltweiten Vergleich. Institut für Agrarpolitik und Marktforschung der Justus-Liebig-Universität Gießen. Agrarökonomische Diskussionsbeiträge, Nr. 25. Gießen
- Hildebrandt, H.; Franke, C. (1988): Zu ausgewählten theoretischen Grundlagen und praktischen Ergebnissen rechnergestützter Effektivitätsanalysen auf der Basis zentraler Datenfonds der Landwirtschaft. Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin, Dissertation (B)
- Hoehn, J.P. (1994): Environmental Accounting for Sustainable Development Decisions. In: Napier, T.L; Camboni, S; El-Swaifi, S.A. (Hrsg.): Adopting Soil Conservation on the Farm: An International Perspective on the Socioeconomics of Soil and Water Conservation. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, S. 83-104
- Hotelling, H. (1933): Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components. In: Journal of Educational Psychology, Jg. 24, S. 417-441 und 498-520
- Hyde, W.F.; Amacher, G.S.; Magrath, W. (1996): Deforestation and Forest Land Use: Theory, Evidence, and Policy Implications. In: The World Bank Research Observer, Jg. 11, Nr. 2, Washington, D.C., S. 223-248
- Hyden, G.; Kates, R.W.; Turner II, B.L. (1993): Beyond Intensification. In: Turner II, B.L.; Hyden, G.; Kates, R. (Hrsg.): Population Growth and Agricultural Change in Africa. Gainesville: University Press of Florida, S. 401-439
- International Fund for Agricultural Development (IFAD) (1992): Soil and Water Conservation in Sub-Saharan Africa. Towards Sustainable Production by the Rural Poor. A Report Prepared for the International Fund for Agricultural Development, Rome by the Centre for Development Cooperation Services, Free University, Amsterdam. Rom
- International Fund for Agricultural Development (IFAD) (1995): Common Property Resources and the Rural Poor in Sub-Saharan Africa. Rom
- Jansen, L. (1997): GIS Application and Database Development within FAO's Land and Water Development Division. Rom, unveröffentlicht
- Jarosch, J. (1990): Methodik, Einsatzmöglichkeiten und Anwendung ökologisch-ökonomischer Planungsmodelle. Landwirtschaft und Umwelt. Schriften zur Umweltökonomik, Bd. 6. Kiel: Wissenschaftsverlag Vauck
- Jazairy, I.; Alamgir, M.; Panuccio, T. (1991): The State of World Rural Poverty. An Inquiry into Its Causes and Consequences. New York: Published for the International Fund for Agricultural Development by New York University Press

- Jolliffe, I.T. (1986): Principal Component Analysis. New York: Springer-Verlag
- Kahn, J.; McDonald, J. (1994): International Debt and Deforestation. In: Brown, K.; Pearce, D.W. (Hrsg.): The Causes of Tropical Deforestation. The Economic and Statistical Analysis of Factors Giving Rise to the Loss of the Tropical Forest. London: UCL Press Limited, S. 57-67
- Kaiser, H.F.; Rice, J. (1970): Little Jiffy, Mark IV. In: Psychometrika, Jg. 35, S. 405-410
- Kirschke, D. (1987): Agrarmarktpolitik bei Unsicherheit. Grundlagen für die theoretische Analyse und Anwendung auf das EG-System der Agrarpreisfixierung. Volkswirtschaftliche Schriften, Heft 369, Berlin: Duncker und Humblot
- Kirschke, D.; Maydell, O.v. (1992): Policy Impacts on Soil Erosion in Developing Countries: Theoretical Aspects and Empirical Approach. In: Loseby, M. (Hrsg.): The Environment and the Management of Agricultural Resources, Brüssel: European Association of Agricultural Economists, S. 224 - 238.
- Köhler, W.; Schachtel, G.; Voleske, P. (1984): Biometrie. Einführung in die Statistik für Biologen und Agrarwissenschaftler. Berlin: Springer Verlag
- Koester, U. (1982): Policy Options for the Grain Economy of the European Community: Implications for Developing Countries. Research Report Nr. 35. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute
- Krautkraemer, J. (1994): Population Growth, Soil Fertility, and Agricultural Intensification. In: Journal of Development Economics, Jg. 44 (1994), S. 403-428
- Kuznets, S. (1966): Modern Economic Growth: Rates, Structures and Spread. New Haven: Yale University Press
- Larson, B.A.; Bromley, D.W. (1990): Property Rights, Externalities, and Resource Degradation. Locating the Tragedy. In: Journal of Development Economics, Jg. 33, S. 235-262
- Larson, L.O.; Narain, P. (1997): Land Quality and other Indicators of Sustainable Development. Statistical Data, Quality Control and Problems of Aggregation. In: Food and Agricultural Organization: Land Quality Indicators and their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development. Proceedings of the Workshop 25-26 January 1996. A Set of Working Papers Prepared under the Land Quality Indicators Initiative. FAO Land and Water Bulletin Nr. 5., Rom, S. 185-196
- Lipton, M. (1987): Limits of Price Policy for Agriculture: Which Way for the World Bank? In: Policy Development Review, Jg. 5, S. 197-215
- Lipton, M. (1997): 'Exogenous' Interest Rates, Technology and Farm Prices Versus 'Endogenous' Conservation Incentives and Policies. In: Vosti, S.A.; Reardon, T. (Hrsg.): Sustainability, Growth, and Poverty Alleviation. A Policy and Agroecological Perspective. Baltimore und London: The Johns Hopkins University Press, S. 146-153.

- Lipton, M. (1997a): Accelerated Resource Degradation by Agriculture in Developing Countries? The Role of Population Change and Responses to It. In: Vosti, S.A.; Reardon, T. (Hrsg.): Sustainability, Growth, and Poverty Alleviation. A Policy and Agroecological Perspective. Baltimore und London: The Johns Hopkins University Press, S. 79-89
- Lutz, E.; Munasinghe, M. (1994): Integration of Environmental Concerns into Economic Analyses of Projects and Policies in an Operational Context. In: Ecological Economics, Jg. 10, S. 37-46
- Mäler, K.-G. (1998): Environment, Poverty, and Economic Growth. In: Pleskovic, B.; Stiglitz, J.E. (Hrsg.): Annual World Bank Conference on Development Economics 1997. Washington, D.C.: The World Bank, S. 251 - 270.
- Malthus, T.R. (1803, 1958): An Essay on Population. London: Dent.
- May, P.H.; Bonilla, O.S. (1997): The Environmental Effects of Agricultural Trade Liberalization in Latin America: An Interpretation. In: Ecological Economics, Jg. 22, S. 5-18
- Maydell, O.v. (1994): Agrarpolitische Ansätze zur Erhaltung von Bodenressourcen in Entwicklungsländern. Kiel: Wissenschaftsverlag Vauck (Landwirtschaft und Umwelt, Schriften zur Umweltökonomik, Bd. 9)
- McConnell, K.E. (1983): An Economic Model of Soil Conservation. In: American Journal of Agricultural Economics, Jg. 65, Nr. 1, S. 83-89
- McDonald, R.P. (1985): Factor Analysis and Related Methods. London: Lawrence Erlbaum Ass.
- Mink, S. D. (1993): Poverty, Population and the Environment. World Bank Discussion Papers, Nr. 189. Washington, D.C.: The World Bank
- Montgomery, D.C.; Peck, E. (1992): Introduction to Linear Regression Analysis. Zweite Auflage. New York: John Wiley & Sons
- Morgan, R.C.P. (1996): Erosion Control in Europe: Priorities and Achievements. Paper for the First European Conference and Trade Exposition on Erosion Control, International Erosion Control Association (IECA), Barcelona, May 1996
- Morgenroth, S. (1992): Wirtschaftlichkeitsanalyse bodenschonender Produktion mit Hilfe der Linearen Programmierung am Beispiel eines Modellbetriebes in Paraná, Brasilien. Fachbereich Institut für Agrarbetriebs- und Standortökonomie der Technischen Universität Berlin. Diplomarbeit. Berlin
- Müller, M.J. (1983): Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Dritte ergänzte und verbesserte Auflage. Schriften der Forschungsstelle Bodenerosion der Universität Trier Mertesdorf (Ruwertal), 5. Heft

- Napier, T.L. (1989): Implementation of Soil Conservation Practices: Past Efforts and Future Prospects. In: Baum, E.; Wolff, P.; Zöbisch, M.: Topics in Applied Resource Management in the Tropics – A Series on Soil and Water Conservation and Land Use Systems, Bd.1: The Extent of Soil Erosion – Regional Comparisons, S. 9-34
- Napier, T.L.; Camboni, S.M.; El-Swaifi, S.A. (Hrsg.) (1994): Adopting Conservation on the Farm. An International Perspective on the Socioeconomics of Soil and Water Conservation. Ankeny: Soil and Water Conservation Society
- Oldeman, L.R. (1997): Global and Regional Databases for Development of State Land Quality Indicators: The SOTER and GLASOD Approach. In: Food and Agricultural Organization: Land Quality Indicators and their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development. Proceedings of the Workshop 25-26 January 1996. A Set of Working Papers Prepared under the Land Quality Indicators Initiative. FAO Land and Water Bulletin Nr. 5., Rom, S. 79-94
- Oldeman, L.R. (Hrsg.) (1988): Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD). Guidelines for General Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation. Working Paper and Preprint, Nr. 88/4. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)
- Oldeman, L.R.; Hakkeling, R.T.A.; Sombroek, W.G. (1991): World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation. An Explanatory Note. Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD), October 1991 – Second Revised Edition. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) und United Nations Environment Programme (UNEP)
- Ost, F. (1984): Faktorenanalyse. In: Fahrmeir, L; Hamerle, A. (Hrsg.): Multivariate Statistische Verfahren. Berlin, New York: de Gruyter, S. 575-641
- Otero, M.; Estefanell, G.; Trigo, E. (1992): Conservación de los Recursos Naturales, Medio Ambiente y Comercio Internacional: Una Visión desde América Latina y el Caribe. San José: Inter-American Institute for Agricultural Sciences (IICA)
- Oyebande, L. (1982): Deriving Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationships and Estimates for Regions with Inadequate Data. In: Hydrological Sciences Journal, International Association of Hydrological Sciences, Jg. 27, Nr.3, S. 353-367
- Palo, M. (1994): Population and Deforestation. In: Brown, K.; Pearce, D.W. (Hrsg.): The Causes of Tropical Deforestation. The Economic and Statistical Analysis of Factors Giving Rise to the Loss of the Tropical Forest. London: UCL Press Limited, S. 42-56
- Panayotou, T. (1993): Population, Environment, and Development Nexus. In: Cassen, R. (Hrsg.): Population and Development: Old Debates, New Conclusions. New Brunswick: Transaction Publishers

- Pearce, D. (1988): The Sustainable Use of Natural Resources in Developing Countries. In: Turner, R.K. (Hrsg.): Sustainable Environmental Management – Principles and Practice. Boulder: Westview Press, S. 102-117
- Pearce, D.W.; Turner, R.K. (1990): Economics of Natural Resources and the Environment. Hemel Hempstead: Harvester Wheatsheaf
- Pearce, D.; Warford, J. (1993): World without End. Economics, Environment and Sustainable Development. New York: Oxford University Press
- Pender, J.L. (1998): Population Growth, Agricultural Intensification, Induced Innovation and Natural Resource Sustainability: An Application of Neoclassical Growth Theory. In: Agricultural Economics, Jg. 19, Special Issue, S. 99-112
- Perman, R.; Ma, Y.; McGilvray, J. (1996): Natural Resource and Environmental Economics. Harlow: Eddison Wesley Longman
- Pimentel, D.; Harvey, C.; Resosudarmo, P.; Sinclair, K.; Kurz, D.; McNair, M.; Crist, S.; Shpritz, L.; Fitton, L.; Saffouri, R.; Blair, R. (1995): Environmental and Economic Cost of Soil Erosion and Conservation Benefits. In: Science, Jg. 267, S. 1117-1123
- Pingali, P.; Biot, Y.; Binswanger, H. (1987): Agricultural Mechanization and the Evolution of Farming Systems in Sub-Saharan Africa. Baltimore: The Johns Hopkins University Press
- Pingali, P.; Binswanger, H.P. (1984): Population Density and Farming Systems – The Changing Locus of Innovations and Technical Change. Discussion Paper of the World Bank Agriculture and Rural Development Department. Washington, D.C.
- Pinstrup-Andersen, P.; Pandya-Lorch, R. (1994): Alleviating Poverty, Intensifying Agriculture, and Effectively Managing Natural Resources. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper Nr. 1. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute (IFPRI)
- Pinstrup-Andersen, P.; Pandya-Lorch, R.; Rosegrant, M.W. (1997): The World Food Situation: Recent Developments, Emerging Issues, and Long Term Prospects. 2020 Vision Food Policy Report, Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute (IFPRI)
- Pleskovic, B; Stiglitz, J.E. (Hrsg.) (1998): Annual World Bank Conference on Development Economics 1997. Washington, D.C.: The World Bank
- Pope II, C.A.; Bhide, S.; Heady, E.O. (1983): The Economics of Soil Conservation: An Optimal Control Theory Approach. In: North Central Journal of Agricultural Economics, Jg. 5, Nr. 2, S. 83-89
- Reardon, T.; Vosti, S.A. (1997): Poverty-Environment Links in Rural Areas of Developing Countries. In: Vosti, S.A.; Reardon, T. (Hrsg.): Sustainability, Growth, and Poverty Alleviation. A Policy and Agroecological Perspective. Baltimore und London: The Johns Hopkins University Press, S. 47-65

- Reardon, T.; Vosti, S.A. (1997a): Policy Analysis of Conservation Investments: Extensions of Traditional Technology Adoption Research. In: Vosti, S.A.; Reardon, T. (Hrsg.): Sustainability, Growth, and Poverty Alleviation. A Policy and Agroecological Perspective. Baltimore und London: The Johns Hopkins University Press, S. 135-145
- Repetto, R. (1987): Economic Incentives for Sustainable Production. In: The Annals of Regional Science, Jg. 21, Nr. 3, S. 44-59
- Repetto, R. (1988): Economic Policy Reform for Natural Resource Conservation. World Bank Environment Department Working Paper Nr.4. Washington, D.C.: The World Bank
- Repetto, R. (1989): Economic Incentives for Sustainable Production. In: Schramm, G.; Warford, J.J. (Hrsg.): Environmental Management and Economic Development. Baltimore und London: The Johns Hopkins University Press, S. 69-86
- Rönz, B.; Strohe, H.G. (Hrsg.) (1994): Lexikon Statistik. Wiesbaden: Gabler
- Rudel, T. (1994): Population, Development and Tropical Deforestation: A Cross-National Study. In: Brown, K.; Pearce, D.W. (Hrsg.): The Causes of Tropical Deforestation. The Economic and Statistical Analysis of Factors Giving Rise to the Loss of the Tropical Forest. London: UCL Press Limited, S. 96-105
- Ruthenberg, H. (1976): Farm Systems and Farming Systems. In: Zeitschrift für Ausländische Landwirtschaft, Jg. 15, Nr. 1, S. 42-56
- Ruthenberg, H. (1980): Farming Systems in the Tropics. Dritte Auflage. Oxford: Oxford University Press
- Ruttan, V.W.; Hayami, Y. (1991): Rapid Population Growth and Technical and Institutional Change. In: Consequences of Rapid Population Growth in Developing Countries: Proceedings of the United Nations Expert Group Meeting, New York, 23-26 Aug. 1988. New York: Taylor and Francis, S. 127-157
- Sautter, H.; Serries, C. (1993): Inhalt und Methodik von Armutsanalysen. Forschungsberichte des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, Bd. 110. Köln
- Schach, P. (1987): Bewertung von Erosionsschutzmaßnahmen. In: v. Urff, W.; Zapf, R. (Hrsg.): Landwirtschaft und Umwelt - Fragen und Antworten aus der Sicht der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (Schriftenreihe der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Bd. 23), S. 317-326
- Scherr, S.J.; Hazell, P.B. R. (1994): Sustainable Agricultural Development Strategies in Fragile Lands. Environment and Production Technology Division Discussion Paper Nr.1. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute (IFPRI)

- Schiff, M.; Valdés, A. (1992): The Political Economy of Agricultural Pricing Policy. Volume 4: A Synthesis of the Economics in Developing Countries. A World Bank Comparative Study. Baltimore und London: The Johns Hopkins University Press
- Schmidtlein, E.-M. (1990): Probleme eines hohen Silomaisanteils in der Fruchtfolge und ökonomische Beurteilung ausgewählter Maßnahmen zur Minderung der negativen Auswirkungen durch Bodenerosion. Weihenstephan, Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues der Technischen Universität München in Weihenstephan. Dissertation
- Schmitt, G. (1994): Anforderungen an die Wissenschaft: Was kann die Agrarökonomie von der Institutionenökonomie für die Entwicklung agrar- und umweltpolitischer Konzepte lernen? In: Schriftenreihe der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Bd. 30, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag, S. 575-587
- Shafik, N. (1994): Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis. In: Oxford Economic Papers, Jg. 46, S. 757-773
- Shafik, N. (1994a): Macroeconomic Causes of Tropical Deforestation: Barking up the Wrong Tree? In: Brown, K.; Pearce, D.W. (Hrsg.): The Causes of Tropical Deforestation. The Economic and Statistical Analysis of Factors Giving Rise to the Loss of the Tropical Forest. London: UCL Press Limited, S. 86-95
- Shafik, N.; Bandyopadhyay, S. (1992): Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-Country Evidence. Background Paper for the World Development Report 1992. Washington, D.C.: The World Bank
- Sombroek, W.G. (1985): Establishment of an International Soil and Land Resources Information Base. Discussion Paper for the ISSS Working Group on Digital Mapping of Global Soil Resources. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)
- Sombroek, W.G. (1997): Land Resources Evaluation and the Role of Land-Related Indicators. In: Food and Agricultural Organization: Land Quality Indicators and their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development. Proceedings of the Workshop 25-26 January 1996. A Set of Working Papers Prepared under the Land Quality Indicators Initiative. FAO Land and Water Bulletin Nr. 5., Rom, S. 9-18
- Sonneveld, B.; Albersen, P.J. (1996): Water Erosion Assessment Based on Expert Knowledge and Limited Information Using an Ordered Logit Model. Centre for World Food Studies of the Vrije Universiteit Amsterdam, Staff Working Paper WP-96-05
- Southgate, D. (1994): Tropical Deforestation and Agricultural Development in Latin America. In: Brown, K.; Pearce, D.W. (Hrsg.): The Causes of Tropical Deforestation. The Economic and Statistical Analysis of Factors Giving Rise to the Loss of the Tropical Forest. London: UCL Press Limited, S. 134-145

- Spearman, C. (1904): General Intelligence, Objectively Determined and Measured. In: American Journal of Psychology, Jg. 15, S. 201-293
- Steinhauser, H.; Langbehn, C.; Peters, U. (1982): Einführung in die allgemeine Betriebslehre. Band 1: Allgemeiner Teil. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer
- Stern, D.I.; Common, M.S.; Barbier, E.B. (1996): Economic Growth and Environmental Degradation: The Environmental Kuznets Curves and Sustainable Development. In: World Development, Jg. 24, Nr. 7, S. 1151-1160
- Stocking, M. (1984): Erosion and Soil Productivity: A Review. Rom: Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO)
- Stocking, M. (1987): Measuring Land Degradation. In: Blaikie, P.; Brookfield, H.: Land Degradation and Society. London und New York: Routledge, S. 49-63
- Tabatabai, H.; Fouad, M. (1993): The Incidence of Poverty in Developing Countries. An ILO Compendium of Data. Geneva: International Labour Office (ILO)
- Templeton, S.R.; Scherr, S.J. (1997): Population Pressure and the Microeconomy of Land Management in Hills and Mountains of Developing Countries. Environment and Production Technology Division, Discussion Paper Nr. 26, Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute
- Thampapillai, D.J.; Anderson, J.R. (1994): A Review of the Socio-Economic Analysis of Soil Degradation Problems for Developed and Developing Countries. In: Review of Marketing and Agricultural Economics, Jg. 62, Nr.2, S.291-315
- Thiesenhusen, W. (1991): Implications of the Rural Land Tenure System for the Environmental Debate: Three Scenarios. In: The Journal of Developing Areas, Western Illinois University, Jg. 26, S. 1-24.
- Thurstone, L.L. (1945): A Multiple Group Method of Factoring the Correlation Matrix. In: Psychometrika, Jg.10, S. 73-78
- Tiffen, M.; Montimore, M.; Gichuki, F. (1994): More People, Less Erosion: Environmental Recovery in Kenya. New York: John Wiley and Sons
- Tschirley, J.B. (1997): Considerations and Constraints on the Use of Indicators in Sustainable Agriculture and Rural Development. In: Food and Agricultural Organization: Land Quality Indicators and their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development. Proceedings of the Workshop 25-26 January 1996. A Set of Working Papers Prepared under the Land Quality Indicators Initiative. FAO Land and Water Bulletin Nr. 5., Rom, S. 197-208
- Tukey, J.W. (1986): The Collected Works of John W. Tukey. Band 3. Monterey, California: Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books and Software
- Überla, K. (1977): Faktorenanalyse. Eine systematische Einführung für Psychologen, Mediziner, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag

- United Nations Development Programme (UNDP) (1990): Human Development Report 1990. New York: Oxford University Press
- United Nations Development Programme (UNDP) (1995): Human Development Report 1995. New York: Oxford University Press
- United Nations Environmental Programme (UNEP) (1982): A World Soils Policy. Nairobi: UNEP
- United Nations Environmental Programme (UNEP) (1992): World Atlas of Desertification. London: Edward Arnold
- United Nations Environmental Programme (UNEP) (1996): Report of the UNEP/RIVM/PE Workshop on Global and Regional Modeling of Food Production and Land Use and the Long-term Impact of Degradation of Land and Water Resources, Bilthoven, the Netherlands, 20 – 22 May 1996. Environment Information and Assessment Meeting Report Nr.2. Nairobi
- United Nations Environmental Programme (UNEP) (1997): Global Resource Information Database (GRID). UNEP-GRID Dataset Catalogue. In: <http://www.idrc.org.sg/pan/unep/unep-grid.html>
- United Nations Environmental Programme (UNEP) (1997a): Spatial Data Sets for Environmental Assessment: Towards Bridging the Gap. Environment Information and Assessment Technical Report Nr. 4. Nairobi: UNEP
- United Nations Environmental Programme (UNEP) / International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) (1991): The Global Assessment of Human-Induced Soil Degradation (GLASOD). Wageningen und Nairobi
- United States Department of Agriculture (USDA) (1994): Estimates of Producer and Consumer Subsidy Equivalents. Government Intervention in Agriculture 1982-92. Washington, D.C.
- Vosti, S.A.; Reardon, T. (Hrsg.) (1997): Sustainability, Growth, and Poverty Alleviation. A Policy and Agroecological Perspective. Baltimore und London: The Johns Hopkins University Press
- Wade, J.C.; Heady, E.O. (1977): Controlling Nonpoint Sediment Sources with Cropland Management: A National Economic Assessment. In: American Journal of Agricultural Economics, Jg. 59, Nr.1, S. 13-24.
- Wahby, D. (1996): Zur Relevanz von Preisen für die Bodenerosion in Entwicklungsländern. Schriften zur internationalen Agrarentwicklung, Band 16. Berlin: Köster
- Werner, R. (1989): Methoden und Modelle zur Optimierung der Intensität der Landschaftsnutzung durch Landwirtschaft und erste Ergebnisse. Kiel: Vauck Wissenschaftsverlag

- Wiebelt, M.; Herrmann, R.; Schenck, P.; Thiele, R. (1992): Discrimination Against Agriculture in Developing Countries? Kieler Studien des Institut für Weltwirtschaft an der Universität Kiel, Bd. 243. Tübingen: Mohr
- Winters, L.A. (1990): The So-Called 'Non-Economic' Objectives of Agricultural Support. In: OECD: Modelling the Effects of Agricultural Policies, OECD Economic Studies, Special Issue. N.13., Winter 1989-1990, Paris, S. 237-266
- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. Agricultural Handbook Nr. 537, Washington, D.C.: United States Department for Agriculture
- World Bank / International Bank for Reconstruction and Development (1990): World Development Report 1990. New York: Oxford University Press
- World Bank / International Bank for Reconstruction and Development (1991): Weltentwicklungsbericht 1991. New York: Oxford University Press
- World Bank / International Bank for Reconstruction and Development (1992): World Development Report 1992. New York: Oxford University Press
- World Bank / International Bank for Reconstruction and Development (1995): The World Bank's Strategy for Reducing Poverty and Hunger. A Report to the Development Community. Washington, D.C.: The World Bank.
- World Meteorological Organization (WMO); Deutscher Wetterdienst (DWD) (1992): Atlas of Area Mean Monthly Precipitation Totals on a 2,5° Grid over the Continents Based on Gauge Measurements for the Year 1987 (Preliminary Results). Offenbach und Genf
- World Resources Institute (1994): World Resources 1994-1995. New York: Oxford University Press
- Young, K.K. (1978): Erosion of Soil. In: Proceedings of the Third Federal Interagency Sediment Conference 1976. Denver

DANKSAGUNG

Die vorliegende Dissertation ist das Ergebnis einer dreijährigen Forschungsarbeit am Institut für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus an der Humboldt-Universität zu Berlin. Die Arbeit wurde ermöglicht durch die finanzielle Unterstützung der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG).

Herr Prof. Dr. Dr. h.c. Kirschke, Vertreter des Fachgebietes Agrarpolitik und Betreuer meiner Arbeit, hat mich in besonderer Weise unterstützt. Seine Anregungen und kritischen Hinweise zum Inhalt und zur methodischen Herangehensweise haben mich inspiriert und ermutigt. Zugleich danke ich ihm für die aktive Integration in das Fachgebiet. Intensive Diskussionen mit Dr. C. Franke, dem Zweitgutachter der Arbeit, haben den im empirischen Teil der Dissertation zugrundegelegten methodischen Ansatz wesentlich geprägt.

Meine Fachgebietskolleginnen und Kollegen haben alle zu der vorliegenden Dissertationsarbeit beigetragen. Mein besonderer Dank gilt S. Boger und D. Wahby, die an der Entwicklung des Forschungsthemas maßgeblich beteiligt waren. Der profunde inhaltliche und methodische Austausch mit S. Boger war mir in allen Phasen der Arbeit sehr nützlich. K. Oertel und M. Völkel danke ich für die kontinuierliche Unterstützung in redaktionellen und organisatorischen Fragen. H. Menzel und D. Müller waren an der Erstellung der kartographischen Darstellung beteiligt.

Wertvolle Anregungen und Unterstützung erhielt ich auch von Mitarbeitern anderer Fachgebiete des Instituts: Dr. A. Balmann und S. Gabbert danke ich für inhaltliche Kommentare; Dr. M. Fritsch hat mich bei der Bearbeitung der in der Arbeit zugrundegelegten georeferenzierten Datenbasis unterstützt; M. Ibold danke ich für seine Hilfsbereitschaft bei der Lösung computertechnischer Probleme.

Vor dem Hintergrund der Fragestellung war die Zusammenarbeit mit Mitarbeitern der *Food and Agricultural Organization* (FAO) und des *International Fund for Agricultural Development* (IFAD) sehr wichtig. Stellvertretend möchte ich Prof. R. Brinkmann, F. Nachtergaele (FAO) und N. Ahmad (IFAD) für die Bereitstellung von Daten und eine praxisnahe Diskussion des Forschungsansatzes danken.

Ohne die tatkräftige und geduldige Unterstützung zahlreicher Personen aus meinem privaten Umfeld wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen, bei ihnen möchte ich mich herzlich bedanken: G. Morgenroth und Dr. U. Morgenroth, U. Schaaf und M.-E. Velasco-Robiño, Dr. D. Schaaf und J. Morgenroth seien an dieser Stelle erwähnt.

Meinen Kindern Carla und Moritz danke ich vor allem dafür, daß sie mich auch in kritischen Phasen der Arbeit erfolgreich aufgemuntert haben.

SELBSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, daß ich die Dissertation selbständig angefertigt habe, nur die angegebenen Quellen als Hilfsmittel benutzt und wörtlich oder inhaltlich übernommene Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Berlin, September 1999

Silvia Morgenroth

CURRICULUM VITAE

PERSÖNLICHE DATEN

Name: Silvia Morgenroth
Geburtsdatum/ -ort: 16.06.1965, Kiel
Staatsangehörigkeit: deutsch
e-mail: silviamorgenroth@sireconnect.de

AUSBILDUNG / QUALIFIKATION

1984: Abitur an der Kaiserin-Friedrich-Schule, Bad Homburg (1,4)
1984-1985: Studium der Lateinamerikanischen Geschichte an der Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolivien
1985-1992: Studium der Agrarwissenschaften an der Technischen Universität (TU) Berlin (12 Semester)
Studienschwerpunkte:

- Betriebs- und Investitionsplanung, Finanzierung und Erfolgsanalyse, Landwirtschaftliche Betriebssysteme, Projektplanung und -management;
- Agrarpolitik, Agrarmarktlehre, internationale Agrarmärkte, Ernährungssicherung;
- Umwelt- und Ressourcenökonomie;
- Ökonometrie.

1992: Diplom-Agraringenieurin (1,6)
Diplom-Arbeit: „Wirtschaftlichkeitsanalyse bodenschonender Produktion anhand der Linearen Programmierung für einen Modellbetrieb in Paraná, Brasilien“ (1,3)
1987: Landwirtschaftliche Praktikantenprüfung (1,9)
1992-1993: Teilnahme am 28. Ausbildungskurs des Deutschen Instituts für Entwicklungspolitik (DIE), Berlin; Thema der Länderarbeitsgruppe (Leitung: Prof. Brandt): „Wirtschaftliche Perspektiven für die Flachserzeugung in der Republik Estland“
09/1999: Erfolgreicher Abschluß des Promotionsverfahrens (Gesamtprädikat: summa cum laude)

ARBEITSERFAHRUNG

- 09/1984-03/1985: Kaufmännisches Praktikum beim Wasserversorgungsunternehmen „SAMAPA“ der Stadt La Paz, Bolivien, im Rahmen des GTZ-Projektes „Kaufmännische und administrative Beratung der SAMAPA“
- 07/1986: Redaktionelles Praktikum bei der französischen NRO „Centre International de Coopération pour le Développement Agricole“, Paris, Frankreich
- 02/1987: Tätigkeit als Dolmetscherin und Protokollantin in Burkina Faso für die NRO „Deutscher Frauenring“
- 1987/88: Landwirtschaftliche Praktika im Sauerland und in der Lehr- und Versuchsanstalt „Neumühle“ des Landes Rheinland Pfalz
- 1988-90: Studentische Hilfskraft am Institut für Sozialökonomie der Agrarentwicklung der TU Berlin
- 06/ - 09/1990: Feldforschung und gutachterliche Tätigkeit auf Ebene landwirtschaftlicher Betriebe im Marsabit District, Kenia, im Rahmen der Erstellung des „Range Management Handbook“ durch die GTZ und das Kenianische Landwirtschaftsministerium
- 1991: Überwachung klinischer Studien für die „Biodat GmbH“, Berlin, in Paris, Créteil, Bordeaux, Strasbourg, Genf
- 04/1994 - 01/1995: Trainee im Länderbereich der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), Frankfurt a.M., Abteilungen Südostasien und Lateinamerika
- 02/1995 - 01/96: Projektmanagerin in der für die Andenstaaten zuständigen Unterabteilung der KfW. Betreuung von Projekten in den Bereichen
- Soziale Investitionsfonds
 - Bildung
 - Aufforstung, Ressourcenschutz
 - Bewässerung
 - Gesundheit
- seit 03/1996: Wissenschaftliche Mitarbeiterin des Instituts für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin. Durchführung eines von der DFG geförderten Forschungsprojektes und Erstellung einer Dissertation zum Thema „Sozioökonomische Rahmenbedingungen und Landnutzung als Bestimmungsfaktoren der Bodenerosion in Entwicklungsländern“.
- Auseinandersetzung mit Methoden der explorativen Datenanalyse, geographischen Informationssystemen, mikroökonomischen Modellen der optimalen Ressourcennutzung und Bewertungsmöglichkeiten agrar- und umweltpolitischer Ziele.